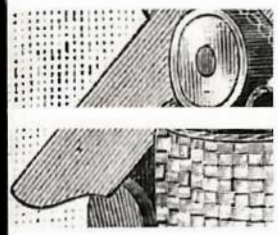
PVP C ISBN 978-84-206-1143-3 3406019 CIENCIAS

9 788420 611433

Dentro de la larga historia de la ciencia, pocos periodos resultan tan importantes y cruciales como la "Revolución Científica" que se dio en Occidente en el lapso que abarca aproximadamente los siglos XVI y XVII de nuestra era. En esta breve introducción, Lawrence M. Principe ofrece una aproximación tan amena como rigurosa a estos tiempos fascinantes en los que la reelaboración y el desarrollo de la herencia medieval se vio afectada de forma decisiva por las nuevas formas en que los pensadores pasaron a relacionarse con los mundos circundantes, así como a afrontar y resolver los problemas que se les iban planteando; unos tiempos en los que se sentaron muchos de los fundamentos sobre los que siguen descansando los conocimientos y métodos científicos actuales.

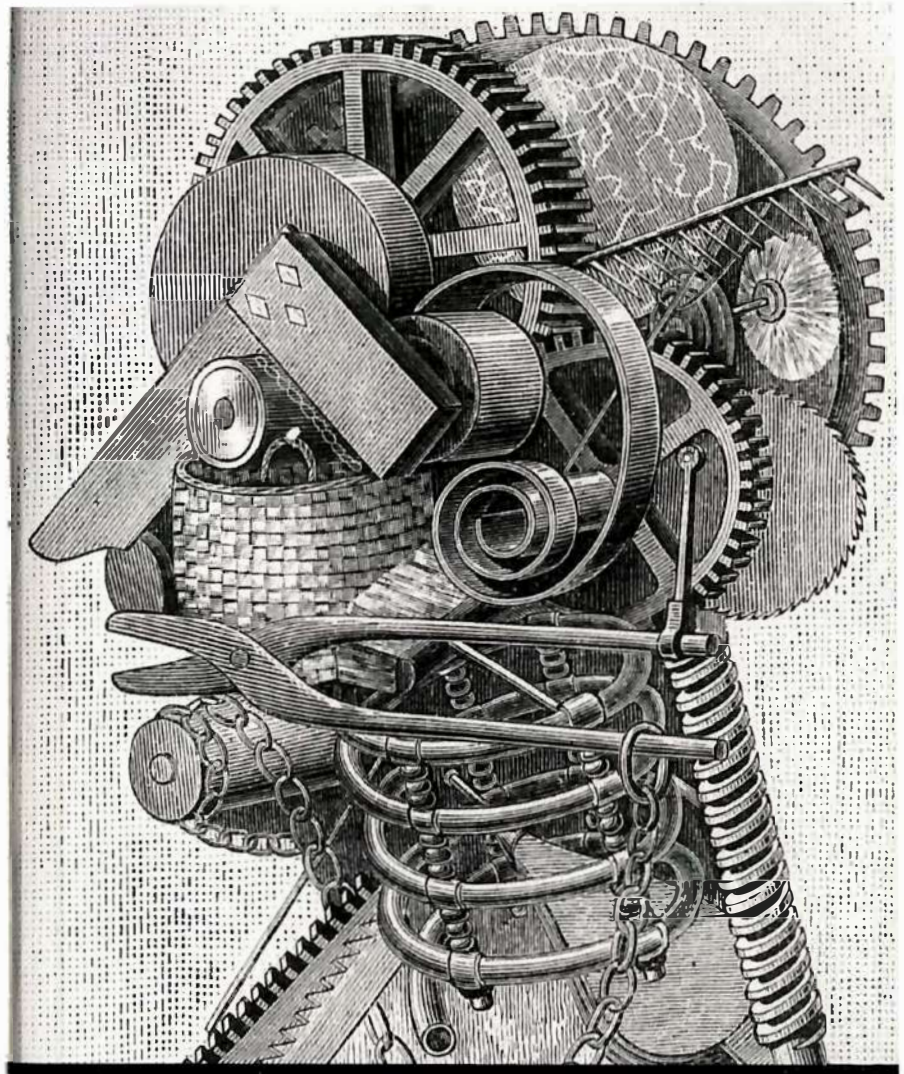


Alianza editorial El libro de bolsillo

C19

La Revolución Científica: Una breve introducción

Lawrence M. Principe



Lawrence M. Principe **Alianza** editorial

La Revolución Científica: Una breve introducción

Lawrence M. Principe

La Revolución Científica
Una breve introducción

Alianza editorial
El libro de bolsillo

Título original: *The Scientific Revolution. A Very Short Introduction*
Traducción de Miguel Paredes Larrucea

Publicada originalmente en inglés en 2011. Esta traducción se ha realizado por acuerdo con Oxford University Press

Diseño de colección: Estudio de Manuel Estrada con la colaboración de Roberto Turégano y Lynda Bozarth
Diseño de cubierta: Manuel Estrada
Ilustración de cubierta: Grabado a partir de *The Inventor's Head* de William Mason
© Bettmann / Corbis / Cordon Press
Selección de imagen: Laura Gómez Cuesta

Reservados todos los derechos. El contenido de esta obra está protegido por la Ley, que establece penas de prisión y/o multas, además de las correspondientes indemnizaciones por daños y perjuicios, para quienes reprodujeren, plagiaren, distribuyeren o comunicaren públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, o su transformación, interpretación o ejecución artística fijada en cualquier tipo de soporte o comunicada a través de cualquier medio, sin la preceptiva autorización.

© Lawrence M. Principe, 2011
© de la traducción: Miguel Paredes Larrucea
© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2013
Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 15;
28027 Madrid; teléfono 91 393 88 88
www.alianzaeditorial.es

ISBN: 978-84-206-1143-3
Depósito legal: M. 38.865-2012
Printed in Spain

Si quiere recibir información periódica sobre las novedades de Alianza Editorial, envíe un correo electrónico a la dirección: alianzaeditorial@anaya.es

Índice

9 Agradecimientos

11 Introducción
15 1. Nuevos y viejos mundos
39 2. El mundo conexo
63 3. El mundo supralunar
102 4. El mundo sublunar
138 5. El microcosmos y el mundo de los seres vivos
166 6. La construcción de un mundo de ciencia

194 Epílogo

199 Referencias

201 Lecturas suplementarias

205 Lista de ilustraciones

207 Índice temático

Agradecimientos

Quisiera expresar mi agradecimiento a todos aquellos amigos y colegas que leyeron y comentaron este libro, o alguna parte de él, en su versión manuscrita, y con quienes discutí y me quejé del problema de tener que comprimir toda la Revolución Científica de una manera tan sintetizada. Me refiero concretamente a Patrick J. Boner, H. Floris Cohen, K. D. Kuntz, Margaret J. Osler, Gianna Pomata, María Portuondo, Michael Shank y James Voelkel.

Vaya también mi agradecimiento a las personas que me facilitaron las ilustraciones de este libro: James Voelkel, de la Chemical Heritage Foundation; Earle Havens y colaboradores, de las Colecciones Especiales de las Sheridan Libraries, Johns Hopkins University, y David W. Corson y colaboradores, así como de las Colecciones de Documentos Raros y Manuscritos de la Kroch Library, Cornell University.

En particular me gustaría recordar aquí las muchas conversaciones mantenidas alrededor de un *single malt* escocés con mi colega y amiga Maggie Osler acerca de cómo escribir la historia de la ciencia moderna. Su muerte prematura nos deja un mundo más pobre y menos malicioso. Dedico este libro a su memoria.

Introducción

A finales de 1664 apareció en los cielos un cometa brillante. Los primeros observadores que advirtieron su llegada fueron españoles, pero en las semanas siguientes, a medida que aumentaron el tamaño y el brillo del cometa, toda Europa tenía la mirada puesta en ese espectáculo celeste. En Italia, Francia, Alemania, Inglaterra, los Países Bajos y en otros lugares –incluso en los jóvenes territorios y colonias de Asia y las Américas– había observadores que seguían y registraban los movimientos y cambios del cometa. Algunos efectuaban cuidadosas mediciones y discutían sobre los cálculos del tamaño y la distancia del cometa y sobre si la trayectoria celeste era curva o recta. Unos lo observaban a simple vista, otros utilizaban instrumentos como el telescopio, invento que apenas tenía sesenta años de antigüedad. Había quienes intentaban predecir sus efectos sobre la Tierra, sobre el tiempo, sobre la calidad del aire, sobre la salud y sobre los asuntos

humanos y el destino de los estados; otros veían en él la oportunidad de contrastar nuevas ideas astronómicas, o lo consideraban un portento divino del bien, del mal, y para muchos, de ambas cosas a la vez. Las imprentas sacaban sin parar folletos y otros escritos; los nuevos periódicos y revistas dedicados a los fenómenos naturales publicaban artículos y polémicas; sobre el cometa se discutía en cortes reales y academias, en cafés y en tabernas; y mientras tanto, el intercambio de cartas, llenas de ideas y de datos, entre observadores muy distantes unos de otros fue tejiendo redes de comunicación por encima de las fronteras políticas y religiosas. Toda Europa contemplaba este espectáculo de la naturaleza e intentaba comprenderlo y aprender de él.

El cometa de 1664-1665 no es más que un ejemplo de cómo los europeos del siglo XVII observaban atentamente el mundo natural circundante, de cómo interaccionaban con él y de cómo se relacionaban entre sí. Con ayuda de telescopios cada vez más perfeccionados vieron nuevos mundos inmensos: lunas insospechadas alrededor de Júpiter, anillos alrededor de Saturno y un sinfín de nuevas estrellas. Con el microscopio, también de reciente invención, lograron ver los delicados detalles del aguijón de una abeja, aumentar una pulga hasta el tamaño de un perro y descubrir enjambres inimaginables de «animálculos» en el vinagre, la sangre, el agua y el semen. Con el escalpelo desvelaron el funcionamiento interno de las plantas, de los animales y de los humanos; con fuego descompusieron sustancias naturales en sus componentes químicos y combinaron sustancias conocidas para formar otras nuevas. Navegaron hasta tierras ignotas y

regresaron con informes asombrosos y muestras de plantas, animales, minerales y gentes desconocidos hasta entonces. Idearon nuevos sistemas para explicar y organizar el mundo y recuperaron algunos de los sistemas antiguos, sopesando siempre las ventajas de cada uno de ellos. Buscaron las causas, significados y mensajes ocultos en el mundo, las trazas de la mano creadora y sustentadora de Dios, la manera de dominar, mejorar y explotar, con nuevas tecnologías y con conocimientos ancestrales ocultos, los mundos que iban encontrando.

La Revolución Científica –aproximadamente el periodo que abarca de 1500 a 1700– es la era más importante de la historia de la ciencia y sobre la que más se ha escrito. Pregúntese a diez historiadores de la ciencia sobre el carácter, la duración y el impacto de ese periodo y probablemente se recibirán quince respuestas distintas. Algunos ven en la Revolución Científica una ruptura brusca con el mundo medieval, una época en la que todos (al menos los europeos) nos hicimos «modernos». Desde ese punto de vista, los siglos XVI y XVII fueron auténticamente revolucionarios.

Aunque hay autores que han intentado convertir la Revolución Científica en un fenómeno inexistente, se trata de una mera ilusión retrospectiva. Incluso los especialistas más circunspectos reconocen hoy día las múltiples e importantes continuidades que existen entre la Edad Media y la Revolución Científica, aun sin negar que los siglos XVI y XVII reelaboraron y desarrollaron la herencia medieval de una manera significativa y asombrosa. En efecto, la «Revolución Científica» –llamada ahora con más frecuencia «Edad Moderna»– significó un tiempo

de ambas cosas, de continuidad y de cambio. En aquella época aumentó considerablemente el número de personas que se planteaban preguntas acerca del mundo natural, proliferaron las nuevas soluciones a esas preguntas y se idearon formas novedosas de resolver los problemas.

En el presente libro se describen algunas de las formas en que los pensadores modernos concebían los mundos circundantes y se relacionaban con ellos, y se explica qué encontraron en esos mundos y que significó para ellos. Asimismo, se expone de forma sumaria cómo sentaron muchos de los fundamentos sobre los que siguen descansando los conocimientos y métodos científicos actuales, cómo se enfrentaron con problemas que siguen preocupándonos hoy día y cómo crearon incluso exquisitos mundos de belleza y de promesas que en muchos casos se nos ha olvidado de qué manera los podemos contemplar.

1. Nuevos y viejos mundos

Los logros de la Edad Moderna se construyeron sobre los fundamentos intelectuales e institucionales establecidos en la Edad Media. Muchas de las cuestiones que se intentaron resolver en la Edad Moderna se habían planteado ya en la Edad Media, y muchos de los métodos utilizados para resolverlas eran obra de investigadores medievales. Pero los pensadores modernos eran dados a menospreciar el periodo medieval y a pretender que su labor era absolutamente original, a pesar de que la parte que retuvieron y aprovecharon de ese periodo, en algunos casos adaptándola a los nuevos tiempos, fue igual o mayor que la parte descartada. Los cambios –intelectuales, tecnológicos, sociales o políticos– que se produjeron entre la Edad Media y la Edad Moderna no ocurrieron simultáneamente en toda Europa. Algunos adelantos indudablemente «modernos» en campos como la medicina, la ingeniería, la literatura, el arte y los asuntos econó-

micos y cívicos arraigaron firmemente en Italia mucho antes de aparecer en otras partes más periféricas de Europa, como Inglaterra.

Por otro lado, los periodos de desarrollo se produjeron en momentos y a ritmos distintos en las diferentes disciplinas científicas. El periodo que se extiende aproximadamente de 1500 a 1700 –llámese como se quiera– fue un rico tapiz de ideas y corrientes entretejidas, un ruidoso mercado de sistemas y conceptos en mutua competencia, un ajetreado laboratorio de experimentación en todos los terrenos del pensamiento teórico y de la práctica. Los textos de este periodo dan fe, uno tras otro, del entusiasmo de sus autores por los tiempos en que vivían. Una única etiqueta, un único libro, un único pensador, una única generación no basta para abarcarlo en su totalidad. Para empezar a comprender este periodo y su significado hay que examinar detenidamente qué ocurrió realmente y por qué.

Comprender la Revolución Científica exige entender primero sus antecedentes en la Edad Media y el Renacimiento. El siglo XV, en particular, fue testigo de grandes cambios en la sociedad europea y de un enorme ensanchamiento de los horizontes de Europa, tanto en sentido literal como figurado. Cuatro acontecimientos o movimientos fueron los que fundamentalmente transformaron el mundo para el hombre de los siglos XVI y XVII: el auge del humanismo, la invención de la imprenta de tipos móviles, el descubrimiento del Nuevo Mundo y las reformas del cristianismo. Estos cambios, aunque no son desarrollos científicos en sentido estricto, transformaron el mundo para los pensadores de aquella época.

El Renacimiento y sus orígenes medievales

La expresión «Renacimiento italiano» sugiere generalmente obras maestras de la pintura y la arquitectura de artistas famosos como Sandro Botticelli, Piero della Francesca, Leonardo da Vinci, Fra Angélico y tantos otros. Pero el Renacimiento fue mucho más que el florecimiento de estas artes: también prosperaron la literatura, la poesía, la ciencia, la ingeniería, los asuntos cívicos, la teología, la medicina y otras disciplinas. No es cuestión de subestimar el brillo y la importancia del Renacimiento italiano del siglo XV para la historia y para la cultura contemporánea, pero hay que recordar que no fue el primer gran florecimiento de la cultura europea después del colapso de la civilización clásica en el siglo V, tras la caída del Imperio romano. Antes de él había habido al menos otros dos «renacimientos».

El primero, el Renacimiento carolingio, vino después de que las campañas militares de Carlomagno, a finales del siglo VIII, dieran mayor estabilidad a Europa central durante gran parte del siglo IX. La corte de Carlomagno en Aquisgrán se convirtió en un centro del saber y de la cultura. Las escuelas catedralicias, que más tarde constituirían el fundamento de las universidades, tienen sus orígenes en esta época. La coronación de Carlomagno por el papa León III en el año 800 como «emperador de los romanos» resume un tema básico de las reformas carolingias: el ansia de recuperar la gloria de la antigua Roma. El diseño de la arquitectura, de la moneda, de las obras públicas e incluso de los estilos de escritura responde al deseo de emular la manera en que lo habían he-

cho los romanos del Imperio, o al menos la manera en que el hombre del siglo IX imaginaba que lo habían hecho los romanos. Este florecimiento fue, sin embargo, efímero.

El segundo «renacimiento» de la Europa latina fue mucho más amplio y más permanente. Su impulso llegó hasta el comienzo del Renacimiento italiano, aunque por entonces ya con menor intensidad. Se trata del «Renacimiento del siglo XII», una gran explosión de creatividad en las ciencias, la tecnología, la teología, la música, el arte, la educación, la arquitectura, el derecho y la literatura. Los factores que desencadenaron este florecimiento siguen siendo objeto de debate. Algunos estudiosos apuntan al predominio de un clima más cálido y favorable en Europa a partir del siglo XI (es lo que se conoce como el «periodo cálido medieval») que, junto a varios adelantos en la agricultura, trajo consigo suficiente alimento y prosperidad para que la población europea se duplicara e incluso triplicara en un tiempo relativamente breve. El auge de los centros urbanos, la existencia de sistemas sociales y políticos más estables, una mayor abundancia de alimentos y, por consiguiente, más tiempo que poder dedicar al pensamiento y a la erudición, todo ello contribuyó a iniciar este renacimiento.

El apetito intelectual de una Europa que despertaba de nuevo halló abundante alimento en el mundo musulmán. La Europa cristiana, al empujar contra las fronteras del Islam en España, Sicilia y el Levante, encontró la riqueza del saber árabe. El mundo musulmán, que había heredado el antiguo saber griego, tradujo ese saber al árabe y lo enriqueció abundantemente con nuevos des-

cubrimientos e ideas. En astronomía, física, medicina, óptica, alquimia, matemáticas e ingeniería, la *Dār al-Islām* ('casa del Islam') estaba muy por encima del Occidente latino. Los europeos no perdieron un segundo en reconocerlo y en esforzarse por adquirir y asimilar la erudición árabe. En el siglo XII, varios estudiosos europeos se embarcaron en un gran «movimiento de traducción». Docenas de traductores, muchos de ellos monjes, se encaminaron hacia las bibliotecas árabes, sobre todo en España, y produjeron versiones latinas de cientos de libros. Hay que subrayar que los textos elegidos para traducir pertenecían casi todos ellos a los campos de la ciencia, la matemática, la medicina y la filosofía.

La Edad Media latina únicamente heredó del mundo clásico los textos conocidos por los romanos; en el momento de la caída del Imperio, eran muy pocos los eruditos romanos que sabían leer griego, de ahí que prácticamente los únicos textos que pudieron legar eran paráfrasis, resúmenes y obras de divulgación del saber griego en latín. (Es como si nuestros descendientes tuvieran noticia de la ciencia actual, no a través de revistas y textos científicos, sino de notas de prensa y obras de divulgación). En consecuencia: los eruditos de la Edad Media latina veneraban los nombres de los grandes autores de la Antigüedad y tenían descripciones de su pensamiento, pero no conocían casi ninguna de sus obras.

Con los traductores del siglo XII cambió el panorama. Las traducciones que se hicieron eran de originales árabes y de obras griegas traducidas al árabe. De ese modo, la mayoría de los textos griegos antiguos llegaron hasta los europeos con vestidos árabes: del árabe llegó la me-

dicina de Galeno, la geometría de Euclides, la astronomía de Ptolomeo y prácticamente todo el corpus aristotélico hoy conocido, por no hablar de las obras más avanzadas de autores árabes en estos y en otros campos.

Esta explosión de conocimientos cristalizó alrededor de 1200 en los planes de estudios de lo que quizá sea el legado más duradero de la Edad Media a la ciencia y el saber: la universidad. Los escritos de Aristóteles sobre filosofía natural constituían el tronco del plan de estudios, mientras que sus obras de lógica dieron lugar a la escolástica, una metodología rigurosa y formalizada de investigación y debate lógico que era aplicable a cualquier materia y que constituía la base de los estudios universitarios.

Es difícil exagerar la importancia de la universidad como centro institucional del saber y la erudición. Como dice el eminente académico Edward Grant, la universidad medieval «conformó la vida intelectual de la Europa Occidental». El máximo título universitario era el de teología, pero no se podía llegar a ser teólogo sin dominar la lógica, la matemática y la filosofía natural de la época, materias utilizadas continuamente en la teología cristiana avanzada de la Edad Media. En efecto, la mayoría de los grandes filósofos naturales de aquella época fueron doctores en teología: San Alberto Magno (hoy santo patrono de los científicos), Teodorico de Friburgo, Nicolás Oresme, Enrique de Langenstein... Todos ellos estudiaron, enseñaron y encontraron su casa en una universidad.

La vigorosa vida cultural del siglo XIII se vio frenada por los desastres del XIV. A principios de dicho siglo, po-

siblemente como consecuencia del fin del periodo cálido medieval, Europa –ahora superpoblada– se vio golpeada por una serie de malas cosechas y por la hambruna. A mediados de siglo se propagó por el continente a una velocidad pasmosa la peste negra, cuyas víctimas morían en menos de una semana después de ser infectados. Hoy día no hemos sido testigos de ninguna pérdida de vidas humanas o de una convulsión social tan rápida, imparable y devastadora como fue el reinado de la peste negra. En cuatro años, entre 1347 y 1350, murió aproximadamente la mitad de la población europea. Los primeros signos de un Renacimiento italiano inconfundible habían empezado a aparecer justo antes de estos tiempos turbulentos: el poeta Dante (1265-1321) vivió antes de la peste, mientras que los escritores Boccaccio (1313-1375) y Petrarca (1304-1374), más jóvenes que él, vivieron con ella.

El humanismo

El Renacimiento italiano, en plena marcha una generación o dos después de los años de máxima virulencia de la peste, proporcionó el primer trasfondo clave de la Revolución Científica: el auge del humanismo. No es fácil definir este término de manera concisa y rigurosa. En lugar de humanismo en singular, es preferible hablar de «humanismos»: un conjunto de corrientes intelectuales, literarias, sociopolíticas, artísticas y científicas relacionadas entre sí.

Una de las ideas más comunes entre los humanistas era el convencimiento de que estaban viviendo una nueva

época de modernidad y novedad, y que esta nueva era había que medirla con el patrón de los logros de la Antigüedad. Se buscaba una *renovatio artium et litterarum* ('una renovación de las artes y las letras') que había que efectuar, en parte, mediante el estudio y la emulación de los antiguos griegos y romanos. En consonancia con ello, fueron historiadores humanistas del Renacimiento italiano –como los florentinos Leonardo Bruni (1369-1444) y Flavio Biondo (1392-1463)– quienes establecieron la triple periodización de la historia que todos conocemos (y de cuyas implicaciones tenemos que seguir intentando liberarnos). Según dicha periodización, la primera edad es la Antigüedad griega y romana, y la tercera es la Edad Moderna, que comienza, naturalmente, con los propios autores renacentistas. Entre estos dos puntos culminantes queda, según los humanistas, un periodo «intermedio» de sordidez y estancamiento al que por consiguiente se le da el nombre de «Edad Media». De hecho, es posible que el invento más perdurable del Renacimiento sea este concepto de Edad Media, porque para el periodo comprendido entre el año 500 y el 1300 no tenemos ningún otro nombre que no esté teñido del desprecio que sentían hacia él los humanistas italianos. El restablecimiento de la prosperidad en Italia hacia el año 1400, con el recuerdo todavía reciente de los años de hambre y peste como trasfondo inmediato, tuvo sin duda que parecerles el albor de una «nueva era».

Se dice que la imitación es la forma más sincera del halago, y los humanistas expresaron su admiración por la Antigüedad imitando los estilos romanos. Intentos de volver a la Antigüedad había habido ya anteriormente,

especialmente durante el Renacimiento carolingio seiscientos años atrás. La sombra que proyectaba la *grandeur* de Roma en la memoria humana era realmente larga. El ansia de los humanistas por saber más de aquella época se tradujo en la búsqueda de textos clásicos hacía tiempo perdidos. Uno de los primeros humanistas, Poggio Bracciolini (1380-1459), aprovechando los descansos durante el concilio reformista de Constanza (1414-1418), en el que tenía un empleo de secretario apostólico, registró de arriba abajo las bibliotecas monásticas de las inmediaciones en busca de vestigios de literatura clásica. Entre lo que encontró figuraban una obra de Quintiliano sobre oratoria y discursos de Cicerón hasta entonces desconocidos, pero también obras de mayor importancia para la historia de la ciencia: *De rerum natura (Sobre la naturaleza de las cosas)* de Lucrecio, obra en la que se exponían las antiguas ideas sobre el atomismo, así como otras de Manilio sobre astronomía, de Vitruvio sobre arquitectura e ingeniería y de Frontino sobre acueductos e hidráulica. Estas obras habían sido copiadas por monjes medievales y preservadas a lo largo de siglos en las bibliotecas monásticas, quizá como únicos ejemplares supervivientes.

La recuperación del saber romano por los humanistas estuvo acompañada de una vuelta al estudio del griego. El antecedente de esta recuperación del griego clásico, apenas estudiado en el Occidente latino durante mil años, fue la llegada de diplomáticos y clérigos griegos a embajadas en Italia hacia 1400, con la misión de prestar ayuda contra la amenaza otomana y asistir a una reunión de las Iglesias de Oriente y de Occidente, separadas por

el cisma de 1054. Uno de los primeros, Manuel Chrysoloras (*c.* 1355-1415), llegó a Italia como diplomático pero se quedó como profesor de griego; con él estudiaron muchos célebres humanistas. Hambrientos de textos griegos, los italianos viajaron a Constantinopla en busca de manuscritos. Guarino da Verona (1374-1460) se trajo de allí cajas enteras de manuscritos, entre ellos la *Geografía* de Estrabón, que tradujo él mismo. Se cuenta que el extravío de una de las cajas durante el transporte hizo que Guarino encaneciera de la noche a la mañana del disgusto. Entre los miembros de la delegación griega al Concilio de Florencia en la década de 1430-1439 había dos célebres eruditos griegos. Uno de ellos, Basilio Besarión (1403-1472), fue luego cardenal y regaló a Venecia su colección de manuscritos griegos, que ascendían aproximadamente a un millar. El otro era un extraño personaje llamado Jorge Gemisto, conocido como Pletón (*c.* 1355-*c.* 1453), que más tarde abogaría por volver al antiguo politeísmo griego. Pletón enseñó griego en Florencia y dio a conocer las obras de Platón y de los platónicos en Occidente. Su enseñanza llevó al duque Cosme I de Médici, por entonces en el poder, a fundar una Academia Platónica en Florencia. Su primer director, Marsilio Ficino (1433-1499), tradujo las obras de Platón y los textos de varios autores platónicos posteriores, la mayoría de ellos desconocidos hasta ese momento para el lector occidental.

En definitiva, durante el siglo XV se recuperaron cantidades ingentes de textos antiguos –muchos de ellos sobre asuntos científicos y tecnológicos–, algo muy parecido a lo que sucedió en el siglo XII. Sin embargo, los

humanistas se distinguieron no tanto por el amor a los textos como por el amor a los textos «puros y exactos». Despreciaban, por corruptos, los textos de Aristóteles y Galeno utilizados en las universidades, plagados como estaban de barbarismos («arabismos»), añadidos y errores, y rechazaban la escolástica por estéril, bárbara y poco elegante. Consideraban además que las universidades (sobre todo las septentrionales, no tanto las italianas) eran unas reliquias de aquella Edad «Media» estancada, y reprochaban a los académicos el escribir un latín degradado y desprovisto de elegancia. Un aspecto importante del humanismo fue la creación de nuevas comunidades académicas fuera de las universidades.

Existe en la actualidad la idea equivocada de que los humanistas eran de alguna manera laicistas, irreligiosos o incluso antirreligiosos. Es cierto que algunos criticaron los abusos de la Iglesia y mostraron desprecio por la teología escolástica, pero en modo alguno rechazaban el cristianismo ni la religión. De hecho, muchos de ellos abogaron por llevar a cabo en la Iglesia una reforma paralela a la de la lengua mediante una vuelta a la Antigüedad, a la Iglesia de los primeros siglos. Numerosos humanistas eran miembros de órdenes religiosas, tenían un empleo en la administración eclesiástica o percibían un sueldo de la Iglesia, y la jerarquía católica mostraba hacia el humanismo una actitud condescendiente. Muchos papas de la época renacentista fueron fervientes humanistas –en particular Nicolás V, Sixto IV y Pío II–, como también lo eran los cardenales y sus curias, en las que los humanistas eran bienvenidos. El error que existe en la actualidad proviene de confundir el humanismo

con el llamado «humanismo secular», un invento del siglo XX que no tiene contrapartida en la Edad Moderna.

La repercusión del humanismo renacentista en la historia de la ciencia y la tecnología fue positiva y negativa. En el lado positivo hay que consignar que los humanistas rescataron cientos de textos importantes y promovieron un nivel hasta entonces desconocido de crítica textual. La reintroducción de Platón, gracias especialmente a su adopción de las matemáticas pitagóricas, elevó el rango de la matemática y proporcionó una alternativa al aristotelismo, que gozaba de predilección en las universidades. El deseo de estar a la altura de los pensadores antiguos inspiró proyectos de ingeniería y construcción en toda Italia tomando como modelo a los ingenieros de la Antigüedad: Arquímedes, Herón, Vitruvio y Frontino. En el lado negativo hay que señalar que la adulación de la Antigüedad fue a veces demasiado lejos, rechazando como barbarismo todo lo que vino después de la caída de Roma. Fue así como Europa empezó a perder el respeto por –y el conocimiento de– los logros árabes y medievales, que en las ciencias, la matemática y la ingeniería representaron, de eso no cabe ninguna duda, avances sustanciales en comparación con el mundo antiguo.

La invención de la imprenta

La invención de la imprenta de tipos móviles, alrededor de 1450, encajó perfectamente con el interés de los humanistas por los textos. Este invento, al menos en la versión que tuvo éxito en la práctica, se le atribuye a Johan-

nes Gutenberg (*c.* 1398-1468), que en sus orígenes trabajó como orfebre en Maguncia. La clave de la imprenta de tipos móviles fue la fabricación de tipos de metal fundido, cada uno de los cuales llevaba una sola letra en realce. Con estos tipos se componían páginas enteras de texto, cuya superficie se impregnaba luego con una tinta basada en aceite y se aplicaba sobre el papel, imprimiendo así cada vez una o varias páginas enteras. Después de imprimir las copias necesarias, se desmontaban los tipos y se reordenaban las letras para formar el siguiente juego de páginas. Hasta entonces los libros había que copiarlos a mano, un proceso de producción que resultaba lento y caro. El auge de las universidades y el aumento del alfabetismo a finales de la Edad Media generaron una demanda de libros superior a la oferta, con la consiguiente presión para producirlos de forma más rápida. Esto condujo a la aparición de empresas de producción de libros fuera de los tradicionales *scriptoria* monásticos y universitarios, aunque con el aumento de la producción vino un mayor número de errores de copia, cosa que los humanistas deploraban. La imprenta permitió una producción más rápida y más fiable, aunque la mano de obra necesaria para la fabricación del papel, la composición y la impresión hacía que los libros siguiesen siendo caros. (La *Biblia* de Gutenberg, impresa en 1455, costaba 30 florines, más que el salario anual de un trabajador especializado.)

La transición a la imprenta no fue inmediata. Al lado del libro siguió existiendo el manuscrito, aunque su uso se vio limitado cada vez más a la circulación restringida de documentos privados, raros o secretos. Los tipos de

letra impresos imitaron la escritura manuscrita, que en la Europa septentrional equivalía a decir la letra gótica. Pero Italia, y Venecia en particular, se convirtió bien pronto en el centro de la industria gráfica, y los impresores italianos, como por ejemplo Teobaldo Mannucci, más conocido por su nombre humanista latinizado Aldus Manutius (1449-1515) (o Aldo Manucio en su adaptación al español), adoptaron para las letras las formas –más limpias y nítidas– desarrolladas por los humanistas italianos (y que, en su opinión, imitaban la escritura de los romanos). Con ello crearon fuentes o tipos de letra que no sólo desplazaron a otras más antiguas, sino que constituyeron la base para la mayoría de las fuentes utilizadas hoy día; de ahí el nombre de «itálica» con que designamos nuestros elegantes caracteres inclinados.

La imprenta se propagó rápidamente por Europa. En 1500 había ya aproximadamente un millar de ellas en funcionamiento y se habían impreso entre 30.000-40.000 títulos, con un total de unos diez millones de ejemplares. Este torrente de material impreso no hizo sino aumentar en los siglos XVI y XVII. Los libros se hicieron cada vez menos caros (a menudo con pérdida de calidad) y más asequibles para los compradores menos pudientes. La imprenta permitió una comunicación más rápida a través de circulares, boletines, folletos, periódicos y otros muchos papeles de vida efímera. A pesar de su corta vida en la mayoría de los casos (tan corta como la de los diarios), fueron algo muy común en la Edad Moderna. La imprenta creó así un nuevo mundo hasta entonces desconocido: el de la palabra impresa (y el del alfabetismo).

Un aspecto de la imprenta que es fácil pasar por alto es su capacidad para reproducir imágenes y diagramas. Las ilustraciones planteaban un problema en la tradición manuscrita, porque la posibilidad de reproducir dibujos con exactitud dependía de las dotes artísticas del copista y muchas veces también de su capacidad de comprensión del texto. Por consiguiente, en las representaciones anatómicas, ilustraciones botánicas y zoológicas, mapas, cartas y diagramas matemáticos o técnicos, cada copia significaba una degradación de la imagen. Algunos copistas simplemente omitían los gráficos cuando presentaban alguna dificultad. Con la imprenta, en cambio, el autor podía supervisar la producción de la xilografía o del grabado original que después serviría para producir, de manera fácil y fiable, copias idénticas. En esas condiciones, los autores mostraban mejor disposición para incluir imágenes en sus obras, lo que permitió por primera vez el auge de la ilustración científica.

Los viajes de descubrimiento

Como una imagen vale más que mil palabras, la posibilidad de incorporar ilustraciones demostró ser especialmente importante de cara a los nuevos informes y objetos extraños que enseguida inundarían Europa. La información provenía de las nuevas tierras con las que establecieron contacto directo los europeos. Las primeras fuentes fueron Asia y el África subsahariana. El contacto europeo con estos lugares se produjo gracias a los intentos de los portugueses de abrir una ruta marítima

para el comercio con la India y suprimir a los intermediarios –principalmente venecianos y árabes– que controlaban las rutas terrestres y mediterráneas.

A principios del siglo XV, el príncipe portugués conocido como Enrique el Navegante (1394-1460) empezó a enviar expediciones hacia el Sur siguiendo la costa del África occidental y estableció contacto con comerciantes en el África subsahariana. Avanzando cada vez más hacia el Sur, los marineros portugueses doblaron el cabo de Buena Esperanza en 1488, para culminar con el viaje comercial de Vasco da Gama a la India entre 1497 y 1498. Muchas de las factorías que los portugueses establecieron a lo largo de toda esa ruta siguieron siendo posesiones suyas hasta mediados del siglo XX. Con el tiempo llegaron a hacer viajes regulares a China, transportando de vuelta a Europa mercancías de lujo, como especias, piedras preciosas, oro y porcelana. Y junto con ellas traían también relatos sobre tierras lejanas, criaturas extrañas y pueblos desconocidos.

Este ensanchamiento de los horizontes europeos no comenzó abruptamente en el Renacimiento. Las bases de los viajes de la época renacentista datan de la Edad Media. En efecto, los viajes a Oriente del siglo XV restablecieron contactos que se habían establecido ya en el siglo XIII, pero que se vieron interrumpidos en el XIV debido a las convulsiones políticas que se produjeron en Asia. Sólo hoy estamos empezando a comprender la importancia de las misiones religiosas y diplomáticas llevadas a cabo en tierras lejanas por viajeros medievales, a menudo por miembros de las dos nuevas órdenes religiosas surgidas en el siglo XIII: dominicos y franciscanos.

Estos viajeros fundaron monasterios en Persia, la India y por toda Asia hasta Pekín, y enviaron a Europa información que sirvió para documentar e inspirar ulteriores viajes mercantiles. Los viajes medievales dieron un sentido más amplio al lugar que ocupaba Europa dentro de un mundo mucho más grande por explorar.

Mientras los portugueses abrían rutas marítimas hacia Asia poniendo rumbo al Este, Cristóbal Colón tenía la vista fija en la dirección opuesta. Convencido de que la circunferencia terrestre era aproximadamente un tercio más pequeña que las estimaciones bastante precisas hechas en la Antigüedad y generalmente conocidas en Europa, Colón pensaba poder llegar antes al Asia oriental navegando rumbo Oeste. Este error se debía en parte a Ptolomeo, geógrafo y astrónomo del siglo II. Los humanistas habían recuperado hacía poco su *Geografía,* que contenía una cifra anormalmente pequeña para el tamaño de la Tierra y que sobrestimaba considerablemente la extensión de Asia hacia el Este. Como es lógico, los patrocinadores de Colón mostraron su escepticismo, dándose cuenta de que la ruta por el Oeste era más larga y que, sin puntos intermedios donde aprovisionarse, la tripulación se moriría de hambre. (*Nadie* pensaba que Colón se fuera a caer por el borde de la Tierra, porque la esfericidad del planeta había quedado absolutamente establecida en Europa más de 1.500 años antes de Colón. La idea de que, antes de Colón, la gente pensaba que la Tierra era plana es una invención del siglo XIX. En la Edad Media se habrían reído a carcajadas de esa idea). Así, cuando las carabelas tocaron tierra en el Caribe en 1492, Colón pensó que había llegado a Asia, no que había descubierto un nuevo continente.

Reconociera o no Colón más tarde su error, el caso es que otros lo advirtieron en seguida y se apresuraron a viajar al Nuevo Mundo. Las noticias sobre el nuevo continente corrieron rápidamente ayudadas por la imprenta, y en 1507 un cartógrafo alemán dio el nombre de «América» a las nuevas tierras en honor del explorador italiano Américo Vespucio. Gracias a esos mapas y a los relatos sobre América del Sur publicados por Vespucio, el nombre hizo fortuna. En 1508 el rey español Fernando el Católico creó para Vespucio el cargo de Piloto Mayor para el Nuevo Mundo. El nuevo cargo estaba encuadrado en la Casa de Contratación de las Indias, un organismo centralizado creado en 1503 no sólo para recaudar impuestos sobre mercancías traídas a España, sino también para recoger y catalogar todo tipo de información traída por los viajeros a la vuelta de sus viajes, para entrenar a pilotos y navegantes y para actualizar continuamente los mapas modelo (el Padrón Real) con la información dada por los capitanes de navío a la vuelta de las nuevas tierras. Los conocimientos teóricos y prácticos recogidos en Sevilla ayudaron a España a crear el primer imperio de la historia en el que «nunca se ponía el sol».

Otras naciones, no queriendo quedarse al margen de los territorios y riquezas que estaban amasando España y Portugal, se unieron a la fiesta, aunque con un retraso de un siglo o más respecto a los dos países ibéricos. Durante unos cien años, prácticamente todos los informes y especímenes que transformaron los conocimientos europeos sobre las plantas, los animales y la geografía entraron en Europa a través de España y Portugal. Resulta difícil imaginar el torrente de datos que inundó Europa proce-

dente del Nuevo Mundo. Las noticias sobre nuevas plantas, animales, minerales y medicinas, y los informes sobre nuevos pueblos, lenguas, ideas, observaciones y fenómenos llegaron a saturar la capacidad de procesamiento del Viejo Mundo. Lo que se produjo fue un auténtico «exceso de información» que exigía revisar las ideas sobre el mundo natural y elaborar nuevos métodos de organización del conocimiento. El descubrimiento de seres desconocidos y extraños hizo saltar por los aires los sistemas tradicionales de clasificación de plantas y animales. Las observaciones hechas por los exploradores sobre las viviendas humanas en todos los lugares a los que llegaron refutaron la antigua noción de que el mundo estaba dividido en cinco regiones climáticas: dos templadas y tres inhabitables por exceso de calor o de frío. Explotar el enorme potencial económico de las Américas y de Asia requirió nuevas aptitudes científicas y tecnológicas. Los datos geográficos y el registro de las rutas marítimas impulsaron la creación de nuevas técnicas cartográficas, mientras que la necesidad de llegar sanos y salvos y de manera segura desde Europa hasta las nuevas tierras y viceversa exigió mejorar la navegación, la construcción naval y el armamento.

Reformas del cristianismo

Al mismo tiempo que los viajes alrededor del mundo ponían a los europeos en contacto con diversas orientaciones religiosas, éstas también se diversificaban dentro de la propia Europa. El año 1517 marca el comienzo de una

profunda y a menudo violenta ruptura en el seno del cristianismo que perdura hasta hoy día. Martín Lutero (1483-1546), fraile agustino y profesor de teología, publicó ese año sus famosas «95 tesis» en la ciudad universitaria de Wittenberg. Las tesis, o proposiciones, estaban formuladas en el formato para el debate escolástico y se centraban en prácticas locales inapropiadas y teológicamente indefendibles observadas en aquel tiempo en torno a la venta de indulgencias. Si bien es cierto que los debates de ese tipo en torno a cuestiones prácticas y doctrinales eran moneda corriente en la polémica cultura universitaria de la Edad Media, la protesta de Lutero rebasó los límites habituales de la disputa teológica académica y se convirtió rápidamente en un amplio movimiento político y social que se le escapó de las manos.

Las proposiciones de Lutero, al principio muy suaves, se hicieron cada vez más atrevidas y hostiles, pasando de cuestiones relativamente menores relacionadas con prácticas locales, a serios asuntos doctrinales. Las propuestas se propagaron rápidamente gracias a la imprenta, se radicalizaron como consecuencia de determinadas conexiones con el nacionalismo local y fueron promovidas por algunos gobernantes germánicos que veían la separación de Roma como un factor favorable para sus intereses políticos. Lo que empezó siendo una protesta local se convirtió así inesperadamente en «protestantismo». El protestantismo se escindió casi de inmediato en sectas rivales. A las controversias entre católicos y luteranos se sumaron enseguida las polémicas entre luteranos y calvinistas, después entre los propios calvinistas, etc. Durante el siglo y medio

siguiente, las llamadas «guerras de religión» –muchas veces motivadas más por maniobras políticas y dinásticas que por cuestiones doctrinales– convulsionaron Europa, sobre todo Alemania, Francia e Inglaterra.

Aunque Lutero no era un humanista, algunas de sus ideas –como por ejemplo la insistencia en una lectura literal de la Biblia frente a las lecturas alegóricas preferidas por los católicos– guardan cierto parecido con el énfasis puesto por los humanistas en los textos. Sin embargo, este parecido tiene menos peso que su recelo hacia la literatura y las ideas clásicas («paganas») y su deseo de expurgar la Biblia de los libros que estaban en desacuerdo con sus ideas (como la Epístola de Santiago).

Otra historia muy distinta fue la de Philipp Melanchthon (1497-1560), mucho más culto que Lutero. El propio apellido –traducción al griego clásico de su apellido alemán Schwartzerdt ('tierra negra')– es reflejo de su humanismo. Su tío abuelo, Johannes Reuchlin –que fue quien aconsejó esa «clasización pagana» del apellido–, fue el humanista más destacado de Alemania. Como consecuencia del rechazo luterano a la escolástica universitaria, Melanchthon (que, como buen humanista, también detestaba la escolástica) renovó los programas de estudios y la pedagogía en las universidades alemanas –en particular, la de Lutero en Wittenberg– cuando pasaron de ser católicas a luteranas. Los nuevos programas de estudios que elaboró Melanchthon le valieron el título de *Praeceptor Germaniae* ('Profesor de Alemania'). Su idea no era desterrar a Aristóteles, sino más bien –de una manera auténticamente humanista– desterrar los «añadidos» que se habían hecho a Aristóteles y utilizar mejores

versiones del filósofo griego. Las nuevas universidades protestantes se encontraron en la situación envidiable de empezar de cero, con menos lastre de métodos ya establecidos, con lo cual pudieron incorporar nuevas materias y enfoques que no habían encontrado acomodo en instituciones más antiguas.

También en el seno del catolicismo se hallaban en marcha movimientos de reforma. Los concilios celebrados en el siglo XV abordaron algunas cuestiones, pero sin demasiado éxito. Más memorable fue el Concilio de Trento (1545-1563), un concilio ecuménico convocado como respuesta al protestantismo para abordar la corrupción eclesiástica, clarificar doctrinas, normalizar prácticas y centralizar la supervisión disciplinaria. El Concilio de Trento, el más importante desde la Edad Media hasta el Vaticano II (1962-1965), lanzó la reforma católica, también conocida como «Contrarreforma». Entre las medidas acordadas figuraba una mejor educación del clero –reforma que muchos humanistas habían ya propugnado–, pero también una mayor vigilancia de la ortodoxia, incluida la contenida en obras ya publicadas. Las reformas tridentinas fueron acogidas con la máxima avidez por una orden religiosa recién fundada, la Compañía de Jesús (los jesuitas). Fundada por San Ignacio de Loyola y aprobada por el Papa en 1540, los jesuitas se dedicaron especialmente a la educación y a la labor intelectual y, en concreto, hicieron contribuciones significativas a la ciencia, la matemática y la tecnología.

La labor de los jesuitas, al margen de predicar la vuelta de los protestantes al catolicismo, se tradujo en cientos de escuelas y universidades fundadas en sus primeros

años de existencia. La pedagogía jesuita se basaba en un estilo innovador en materia de enseñanza y de planes de estudios, un estilo que, manteniendo la importancia concedida a los métodos aristotélicos, ponía un nuevo acento en las ciencias y en la matemáticass (en 1700, más de la mitad de las cátedras de matemáticas en Europa estaban ocupadas por jesuitas). Las escuelas de jesuitas fueron muchas veces las primeras en enseñar algunos de los nuevos postulados de la Revolución Científica, y en ellas se formaron sus autores. Los jesuitas se dispersaron por todo el globo siguiendo las rutas comerciales recién abiertas; tuvieron una presencia destacada en China, la India y las Américas (donde, como era de esperar, fundaron escuelas y universidades) y establecieron la primera red de correspondencia epistolar de ámbito mundial. Esta red canalizaba todo hacia Roma, desde especímenes biológicos y observaciones astronómicas hasta objetos de culturas exóticas y extensos informes sobre el saber y las costumbres autóctonas. La actitud jesuita en el estudio de las ciencias y la matemática queda expresada en su lema «encontrar a Dios en todas las cosas paganas». Ahora bien, este incentivo no sólo servía de guía a los jesuitas, sino que en realidad estaba subyacente en prácticamente toda la Revolución Científica.

El nuevo mundo del siglo XVI

Los europeos del siglo XVI vivían en un mundo nuevo y en rápida transformación. Ocurría allí lo mismo que ocurre con el ritmo de vida acelerado de nuestros días:

para muchos era una fuente de ansiedad, mientras que para otros era un mundo de posibilidades y oportunidades. Los horizontes de Europa se habían expandido en todos los sentidos. Los europeos habían redescubierto su propio pasado, habían hallado un mundo físico y humano más vasto y habían desarrollado nuevos enfoques y nuevas interpretaciones de ideas más antiguas. La imagen que mejor podría reflejar su mundo sería la de un mercado tumultuoso, rebosante de mercancías: multitud de ideas, productos y posibilidades pregonados por la algarabía; tropeles de gente que se abren paso a codazos para probar, comprar, rechazar, encarecer, criticar o simplemente tocar la mercancía, casi toda ella al alcance de cualquiera.

Tanto si concluimos que la Revolución Científica es algo completamente nuevo como si afirmamos que es el resurgimiento de un fermento intelectual surgido a finales de la Edad Media tras la interrupción del siniestro siglo XIV, no cabe ninguna duda de que el hombre culto de los siglos XVI y XVII veía su tiempo como una época de cambio y de novedad. Tiempos apasionantes; tiempos, en efecto, de nuevos mundos.

2. El mundo conexo

Para los pensadores modernos el mundo era un *cosmos* en el auténtico sentido griego de la palabra, es decir, un todo bien ordenado y organizado. Para ellos, los distintos componentes del universo físico estaban estrechamente entrelazados e íntimamente unidos a los seres humanos y a Dios: un mundo tejido en una compleja malla de conexiones e interdependencias, donde cada rincón estaba lleno de propósito y de sentido. Estudiar el mundo significaba no sólo descubrir y catalogar hechos sobre su contenido, sino también desvelar su misterioso designio y sus mensajes secretos. Esta perspectiva contrasta con la de los científicos contemporáneos, cuya creciente especialización reduce su foco de atención a temas de estudio puntuales y objetos aislados, con métodos que conceden primacía a los enfoques analíticos sobre los sintéticos y con perspectivas que disuaden de formular preguntas sobre el sentido o el propósito de las cosas.

Los enfoques actuales han permitido obtener gran cantidad de conocimientos sobre el mundo físico, pero han producido también un mundo inconexo y fragmentado que puede hacer que los humanos se sientan alienados y huérfanos frente al universo. La cosmovisión de casi todos los filósofos naturales de la Edad Moderna era más amplia y totalizadora, y de esa visión emanaban sus motivos, sus preguntas y sus prácticas. Para entender los métodos y motivaciones con que encaraban la investigación de ese mundo tenemos que comprender la visión que tenían de él.

El concepto de un mundo íntimamente conexo y lleno de sentido tiene múltiples raíces, y entre ellas destacan sobre todo los dos gigantes ineludibles de la Antigüedad, Platón y Aristóteles, y la teología cristiana.

De fuentes platónicas, en particular de los llamados neoplatónicos (aquellos filósofos que desarrollaron activamente las ideas de Platón en el Egipto helenizado, en los dos primeros siglos de la era cristiana), proviene la idea de la *scala naturae* o 'escala de la naturaleza'. De acuerdo con esta concepción, cada cosa ocupa un lugar especial en una jerarquía continua. En la parte superior está el Uno, el dios eterno y absolutamente trascendente del cual deriva su existencia todo lo demás. La fuerza creadora que emana del Uno confiere existencia a todas las demás cosas. Cuanto más lejos se halla una cosa de esta fuente, más abajo está en la escala y más difiere del Uno. En la parte inferior está la materia inerte, la materia inanimada. Los peldaños intermedios, en orden ascendente, están ocupados por la vida vegetal y animal, luego por los seres humanos y finalmente por seres espirituales

como los *daimones* y los semidioses. La meta de algunos neoplatónicos era algo así como ascender por la escala, hacerse más espirituales y menos materiales, liberar el alma humana –nuestra parte más noble– de la ceguera causada por su descenso a la materia y ascender por los niveles de los seres espirituales hacia el Uno.

Esta concepción de la Antigüedad tardía, que influyó en las doctrinas cristianas y se vio influida a su vez por ellas, era fácilmente adaptable a las creencias cristianas ortodoxas tan sólo sustituyendo los *daimones* y los semidioses paganos por las jerarquías angelicales, y el Uno por el Dios cristiano, como ya sugiriera Pseudo Dionisio Areopagita, un neoplatónico cristiano del siglo V. Gracias a esa cristianización siguió siendo bien conocida a lo largo de la Edad Media latina esta idea de la *scala naturae,* pese a permanecer perdidos durante siglos los antiguos textos platónicos en los que se basaba.

Dichos textos platónicos fueron algunos de los redescubiertos por los humanistas en el Renacimiento y traducidos por Marsilio Ficino, quien también adquirió, tradujo y publicó un conjunto de textos ligados al nombre de Hermes Trimegisto (que significa 'Hermes, tres veces grande'), mítico sabio del antiguo Egipto, contemporáneo de Moisés. Lo que hizo Ficino fue una pequeña selección a partir de una masa ingente de *Hermetica* (escritos atribuidos a Hermes) de los siglos III a. C. al VII d. C. aproximadamente. Aunque inicialmente se les atribuyó una antigüedad mucho mayor, el *Corpus hermeticum* de Ficino data probablemente de los siglos II y III d. C. Su importancia reside en su carácter neoplatónico, al subrayar el poder de los seres humanos, su lugar en el mundo

conexo de la *scala* y su capacidad para ascender por ella. Muchos lectores del Renacimiento creyeron encontrar en los *Hermetica* un anuncio o presagio del cristianismo. Hermes Trismegisto adquirió así el rango de profeta pagano, y como tal se le puede ver representado entre los profetas en la catedral de Siena. La *scala* contempla un mundo en el que cada criatura tiene su lugar y está unida a las inmediatamente superiores e inferiores, de modo que se produce un ascenso gradual y continuo desde el nivel más bajo hasta el más alto, sin interrupción, a lo largo de lo que ha recibido el nombre de la «Gran Cadena del Ser».

Un concepto afín (presente en el *Timeo,* única obra de Platón conocida en la Edad Media latina y en la cual describe el origen del universo) es el de «macrocosmos»-«microcosmos». Estas dos palabras griegas significan 'gran mundo ordenado' y 'pequeño mundo ordenado', respectivamente. El macrocosmos es el cuerpo del universo, es decir, el mundo astronómico de las estrellas y los planetas, mientras que el microcosmos es el cuerpo del ser humano. La idea esencial es que estos dos mundos están construidos según principios análogos y por tanto guardan estrecha relación entre sí. Una obra árabe del siglo VIII llamada la *Tabla de Esmeralda* –contribución tardía a los *Hermetica*– resume de manera concisa esta visión en un sucinto lema bien conocido en la Europa moderna: «Lo que está arriba es semejante a lo que está abajo; lo que está abajo es semejante a lo que está arriba». Para Platón, la conexión del microcosmos humano con el macrocosmos planetario tenía un significado moral práctico: debemos considerar el funcionamiento racional y ordenado de los cielos como guía para comportarnos de un modo racional y ordenado. Para los europeos de la Edad Moderna, el nexo microcosmos-macrocosmos tenía ante todo un significado médico, ya que en él descansaba la astrología médica: los distintos planetas tienen efectos específicos sobre determinados órganos humanos y pueden influir así en las funciones corporales (véase el capítulo 5).

Otra contribución importante a la idea de un mundo conexo en el que cada cosa tiene su propósito proviene de las ideas aristotélicas sobre las formas de obtener el conocimiento. Según Aristóteles, el verdadero conocimiento de una cosa es el «conocimiento causal». Este término requiere una explicación. Aristóteles sostenía que para conocer una cosa es necesario identificar sus cuatro «causas» o razones de existir. La primera de ellas, la «causa eficiente», describe qué o quién hizo la cosa. La «causa material» describe de qué está hecha la cosa. La «causa formal» dice qué características físicas hacen que la cosa sea lo que es, es decir, un inventario de sus cualidades. La causa más importante para los aristotélicos, y la más difícil de comprender para los contemporáneos, es la «causa final». La causa final dice para qué es la cosa, cuál es el objetivo de su existencia, y según Aristóteles todo tiene un objetivo o propósito. Las diferentes «causas» se pueden ilustrar tomando como ejemplo una estatua de Aquiles. La causa eficiente de la estatua es el escultor; su causa material, el mármol; su causa formal, el hermoso cuerpo de Aquiles, y su causa final, la de celebrar la memoria de Aquiles. En cada caso puede haber más de una causa; por ejemplo, la estatua podría también tener la

causa final de ser decorativa, o quizá, en alguna casa ática, la de servir de perchero.

La cuestión esencial es que las formas aristotélicas de conocimiento, especialmente en lo que concierne a las causas eficiente y final, lo que hacían era definir los objetos en el contexto de su relación con otros objetos. Llegar a conocer una cosa significaba poder situarla dentro de una red de relaciones con otras cosas, especialmente las que le dieron su existencia y las que hacen uso de ella. En el contexto cristiano europeo, la causa final armonizaba bien con la idea de la providencia y el designio divinos. Las causas finales en la naturaleza formaban parte del plan de Dios para la Creación, implantadas y codificadas, dentro de las cosas creadas, por la Causa Eficiente Primera.

Los autores de la Edad Moderna expresaron de muy diversas maneras su interpretación de la idea del mundo conexo. El filósofo natural inglés Robert Boyle (1627-1691), famoso por sus trabajos de química (los estudiantes de esta asignatura siguen teniendo que aprenderse la ley que lleva su nombre, que dice que el volumen de un gas es inversamente proporcional a la presión ejercida sobre él), escribió que el mundo es como «un romance bien construido», refiriéndose con la palabra «romance» a las voluminosas novelas francesas de su tiempo (a las que era muy aficionado). Estos romances sobrepasan muchas veces las dos mil páginas y por ellos desfila una infinidad de personajes casi imposible de memorizar, cuyas complejas historias convergen y divergen constantemente de formas sorprendentes, con continuas revelaciones de quién está secretamente enamorado de quién y

cuál es realmente la identidad de ese hermano o niño desaparecido hacía tiempo, etc. Para Boyle, el Creador es el autor del máximo romance, y los investigadores científicos son los lectores que intentan descubrir las relaciones e historias entrecruzadas en el mundo escrito por Él.

Athanasius Kircher (1601/2-1680), polímata jesuita que tenía un museo de curiosidades en Roma, que era un centro de correspondencia jesuita sobre filosofía natural, representó el mundo conexo en el elegante frontispicio barroco de su obra enciclopédica sobre el magnetismo (Figura 1). El grabado muestra una serie de medallones circulares, cada uno de ellos con el nombre de una rama del conocimiento: física, poesía, astronomía, medicina, música, óptica, geografía, etc., con la teología en lo más alto. Los medallones están conectados entre sí por medio de una sola cadena, expresión de la unidad inherente de todas las ramas del conocimiento. Para el hombre de la Edad Moderna no había barreras estrictas que mantuvieran separadas unas ciencias de las otras, las humanidades y la teología: todas ellas constituían modos interconectados de explorar y comprender el mundo. En la representación de Kircher, estas ramas del conocimiento permanecen encadenadas a tres medallones más grandes que representan las tres partes principales del mundo natural: el mundo sidéreo (todo lo que está más allá de la Luna), el mundo sublunar (la Tierra y su atmósfera) y el microcosmos (los seres humanos). Estas tres partes del mundo están también encadenadas entre sí para indicar su inevitable dependencia mutua. En el centro de la imagen, en contacto directo con cada uno de los tres mun-

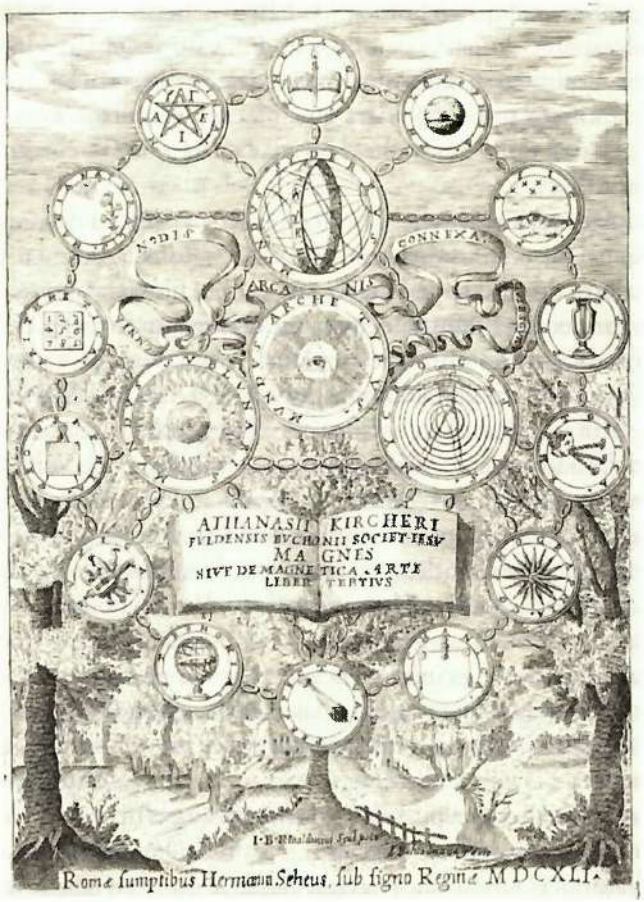


Figura 1. Grabado de la portada de la obra de Athanasius Kircher *Magnes sive de magnetica arte* (Roma, 1641); en él se expresa la conexión entre las ramas del conocimiento y Dios, la humanidad y la naturaleza.

dos, está el *mundus archetypus* ('el mundo arquetípico'), es decir, la mente divina que no sólo creó todas las cosas sino que contiene en sí misma los modelos o arquetipos de todo lo que es posible en el universo. Kircher completa su imagen con el lema latino «Todo está unido con nudos arcanos» *(Omnia nodis arcanis connexa quiescunt).*

Esta sensación de unión o conexión tanto entre las diversas disciplinas como entre las distintas facetas del universo es característica de la «filosofía natural» o «filosofía de la naturaleza», nombre que recibía en la Edad Moderna la rama de quienes estudiaban el mundo natural. La filosofía de la naturaleza está estrechamente emparentada con lo que generalmente llamamos «ciencia» en la actualidad, pero su ámbito y finalidad eran más amplios que los de ahora. El filósofo natural de los tiempos medievales o de la época de la Revolución Científica estudiaba el mundo de la naturaleza, igual que lo hacen los científicos actuales, pero lo llevaba a cabo con una visión más amplia que incluía la teología y la metafísica. Los tres componentes de Dios, hombre y naturaleza nunca estaban separados el uno del otro.

La perspectiva de la filosofía natural dio gradualmente paso a otra más especializada y estrictamente «científica», pero eso no ocurrió hasta el siglo XIX (la época en la que se acuñó el sustantivo «científico»). La labor y las motivaciones de los filósofos naturales de la Edad Moderna no se pueden comprender ni apreciar debidamente sin tener en cuenta el carácter específico de la filosofía natural. Sus preguntas y sus objetivos no coincidían necesariamente con los nuestros, aun tratándose del estudio de los mismos objetos de la naturaleza. La historia de

la ciencia no se puede escribir sacando los avances científicos de su contexto histórico, sino únicamente mirando con los ojos y pensando con la mente de sus protagonistas.

La «magia» natural

La perspectiva «cósmica» fue una idea ampliamente compartida por muchos en los siglos XVI y XVII y constituyó la base de diversas prácticas y proyectos, aun cuando no todos los pensadores atribuían la misma importancia para su trabajo a las interconexiones existentes en el mundo. El aspecto de la filosofía natural más estrechamente ligado a esta visión del mundo era la *magia naturalis*. Traducir directamente estos términos latinos por 'magia natural' puede inducir a confusión. En nuestros días, la palabra «magia» sugiere la imagen de un prestidigitador sacando un conejo de la chistera, o de un anciano todo arrugado, vestido con una túnica negra y sombrero puntiagudo y pronunciando sortilegios delante de un caldero, o, sin llegar a esos extremos, Harry Potter y Hogwarts. La *magia naturalis* de la Edad Moderna era algo muy diferente y constituye una parte importante de la historia de la ciencia.

La mejor traducción de *magia* para el lector de nuestro tiempo quizá sea 'maestría' o 'dominio'. El objetivo del practicante de la magia, el *magus,* era conocer y dominar las conexiones que se hallan ocultas en el mundo con el fin de utilizarlas para fines prácticos. Recordemos el frontispicio de Kircher. En la esquina superior izquierda

figura la *magia naturalis* entre las ramas del conocimiento, entre la aritmética y la medicina. Kircher la simboliza con el movimiento del girasol que sigue al Sol por todo el cielo durante el día (hay varias plantas que exhiben este mismo comportamiento, llamado «heliotropismo»). ¿Por qué mira el girasol siempre en dirección al Sol mientras que la mayoría de las plantas no? Tenía que haber alguna relación especial entre el Sol y el girasol. La capacidad de esta planta de seguir al Sol era un excelente ejemplo de las conexiones y fuerzas ocultas que el «mago» quería identificar y dominar.

Los aristotélicos de la Edad Media dividían las propiedades de una cosa en dos grupos. El primero estaba formado por las «cualidades manifiestas», es decir, las cualidades que podía detectar cualquiera que estuviera dotado de órganos sensoriales. Caliente, frío, húmedo y seco eran las cualidades primarias. Otras cualidades eran, por ejemplo, liso, rugoso, amarillo, blanco, amargo, salado, sonoro, fragante, etc., todo aquello que activara los sentidos. Al fin y al cabo, el aristotelismo era fundamentalmente una forma de relacionarse con el mundo basada en el sentido común. Los aristotélicos utilizaban estas cualidades manifiestas para explicar la acción de una cosa sobre otra: por ejemplo, las bebidas refrescantes bajan la fiebre porque lo frío contrarresta lo caliente.

Pero había objetos que actuaban de manera extraña e imposible de explicar mediante las cualidades manifiestas. En esos casos se consideraba que dichos objetos poseían «cualidades ocultas» *(qualitates occultae)* que no podemos detectar con los sentidos. Estas cualidades actuaban a menudo de manera muy específica, lo que sugería la

existencia de una conexión especial e invisible entre determinadas cosas y los objetos sobre los que actuaban. Los filósofos de la naturaleza medievales hicieron listas enteras de tales fenómenos. Un ejemplo clásico es el imán. Con los sentidos no percibimos nada que nos permita poder explicar la misteriosa capacidad de la magnetita (un mineral con propiedades magnéticas) para atraer específicamente el hierro. Lo mismo sucede con la aparente atracción entre el Sol y el girasol, el alineamiento de la aguja de compás con la Estrella Polar, el efecto somnífero del opio, el efecto de la Luna sobre las mareas, y muchas otras cosas. La *magia naturalis* era el intento de identificar estas cualidades ocultas y sus efectos, y hacer uso de ellos.

¿Qué había que hacer para descubrir estas conexiones, estos «nudos ocultos» en la naturaleza? Una manera era observar atentamente el mundo. Estaremos de acuerdo en que la observación atenta es un punto de partida decisivo para la investigación científica; la práctica de la *magia naturalis* fomentaba la observación. Otro método de igual importancia consistía en aprovechar las anotaciones y archivos realizados por otros observadores de la naturaleza anteriores: descripciones y observaciones, desde las más triviales hasta las más insólitas, registradas en textos diversos desde los tiempos antiguos hasta los actuales. Buena parte de la magia se basaba por tanto en la lectura atenta de los textos al estilo humanista, compilando las tesis de autores anteriores para formar complejas redes. Si se piensa en la inmensa variedad de la naturaleza, la tarea del aprendiz de *magus* resulta apabullante, algo así como catalogar las propiedades de todas las co-

sas. ¿No habría algún atajo? En opinión de algunos filósofos naturales, la naturaleza contenía pistas que podían servirle de guía al mago, algo así como señales plantadas allí por un Dios misericordioso que quiere que entendamos su creación y que nos beneficiemos de ella.

La llamada «doctrina de las signaturas» afirma que determinados objetos naturales están «signados» con indicaciones de sus cualidades ocultas. En muchos casos esto significa que dos objetos conexos presentan un aspecto parecido o tienen características análogas; por ejemplo, el girasol no sólo sigue al Sol, sino que su inflorescencia «se parece» realmente al Sol en el color y en la forma. También algunas partes de las plantas se parecen a determinadas partes del cuerpo humano: la nuez, por ejemplo, dentro de su cáscara, se asemeja mucho al cerebro alojado dentro del cráneo. ¿Es esto un signo de que las nueces pueden ser un buen medicamento para el cerebro? El practicante de la *magia* tendría que probarlo para estar seguro de ello, pero la observación, unida a la idea de las signaturas, ofrecía un buen punto de partida para investigar, explicar y utilizar el mundo natural.

La doctrina de las signaturas no es sino una de las facetas de un modo más amplio de pensamiento analógico que se halla omnipresente en la Edad Moderna. Mientras en la actualidad se tendería a considerar tales similitudes como meras coincidencias o accidentes –o como semejanzas «poéticas» y no físicas–, en los tiempos modernos había muchos que veían las cosas de modo muy diferente: esperaban, ya de entrada, encontrar relaciones analógicas entre las distintas partes del mundo, y el descubrimiento de una semejanza o simetría en la natura-

leza significaba para ellos una conexión real entre las cosas. Cualquier analogía entre dos objetos del mundo natural, en lugar de interpretarse como un producto de la imaginación humana, representaba una nueva línea en el plano de la Creación, un signo visible de una conexión oculta implantada por Dios en el universo. Los argumentos analógicos poseían así una fuerza probatoria muy especial, mucho mayor de la que solemos concederles hoy día. La solidez de ese vínculo se basaba en la fe inquebrantable en un cosmos de, lejos de ser aleatorio y fortuito, estaba lleno de sentido y de propósito, bajo la guía de la sabiduría y providencia divinas en beneficio de los seres humanos. Esta certeza, y el consiguiente uso del razonamiento analógico, no era privativa de los interesados en la *magia naturalis:* la poseían prácticamente todos los pensadores serios de esta época.

Mediante la observación directa, las analogías, las autoridades textuales y las signaturas, los pensadores modernos compilaron numerosos conjuntos de cosas que consideraban relacionadas entre sí. Por ejemplo, ¿qué otras cosas podían guardar relación con la conexión Sol-girasol? El Sol es la fuente de calor y vida en el macrocosmos; su contrapartida en el microcosmos tiene que ser el corazón. (Echemos otro vistazo al frontispicio de Kircher: en la figura humana que representa el microcosmos, en el lugar del corazón hay un sol diminuto). El Sol, el más noble de los cuerpos celestes, es brillante y amarillo, y por tanto se parece al oro en el reino mineral y, siguiendo un poco más, a todas las cosas amarillas o doradas. En el reino animal, el Sol hace cantar al gallo, lo que indica una relación especial entre ambos. El león,

con su color ámbar, su condición de rey de la selva y su melena que recuerda a los rayos solares, también parece relacionado con el Sol. Por otro lado, la bravura del león se corresponde a su vez con el corazón. El Sol, el girasol, el corazón, el oro, el amarillo, el gallo y el león tienen todos ellos relaciones en común y por tanto conexiones reales aunque ocultas. Para los defensores de la *magia naturalis,* estos lazos analógicos se traducen en vínculos operativos que se pueden aprovechar. Utilizar el oro o el girasol para preparar un medicamento para el corazón sería la aplicación más directa e inmediata. Pero las cosas podían llegar a ser mucho más complicadas, como vamos a ver.

Las opiniones sobre qué unía realmente a los objetos en esas mallas de correspondencia eran dispares, pero en general se pensaba que funcionaban por «simpatía», palabra de origen griego que literalmente significa 'comunidad de sentimientos'. Pensemos en dos laúdes bien afinados en dos extremos de una habitación. Pulsamos una cuerda en uno de ellos e inmediatamente se pondrá a vibrar la cuerda homóloga en el otro, reproduciendo la nota tocada en el primero. Hoy seguimos llamando a este fenómeno «vibración por simpatía». Para los pensadores de la Edad Moderna, era un ejemplo de la acción a distancia de vínculos invisibles entre cosas «sintonizadas» entre sí. Algunos sostenían que era necesario un medio para transmitir la acción entre objetos separados en el espacio; Aristóteles había afirmado que una cosa no puede actuar a distancia sobre otra sin un medio que transmita los efectos. En el caso de las cuerdas del laúd, sabemos que es el aire el que transmite las vibraciones

entre los dos instrumentos. Para otras acciones simpáticas, el medio podría ser el llamado *spiritus mundi*, 'el espíritu del mundo', una sustancia universal incorpórea o cuasi corpórea y omnipresente, capaz de transmitir influencias de un objeto a otro y mantenerlos así en contacto virtual aun cuando se hallen lejos el uno del otro.

Este «espíritu» no era una entidad sobrenatural sentiente; era más bien el equivalente macrocósmico de los espíritus animales microcósmicos, la sutil sustancia de nuestro cuerpo que transmite la orden de «¡moveos!» a través de los nervios hasta los pies cuando nuestro intelecto se da cuenta de que se nos echa encima un camión de dos toneladas a toda velocidad. El espíritu del mundo porta igualmente «señales» del Sol al girasol o de la Luna a las aguas del mar. Una vez más, el micro y el macrocosmos son reflejos uno del otro; ambos contienen espíritus que transmiten señales. Esta analogía significaría que el propio macrocosmos posee también un alma de algún tipo, cosa que Platón afirma en el *Timeo* y que resulta especialmente difícil de entender para el hombre contemporáneo. En el capítulo siguiente volveremos sobre este particular.

«Dominio» práctico, de la cocina al estudio

La teoría de la magia natural en relación con un mundo conexo es impresionante, incluso elegante y bella, pero el aspecto clave de la *magia naturalis* es su aplicación práctica, la cual, en la Edad Moderna, oscilaba, según los casos, entre lo banal y lo sublime.

En el primer caso no tenía a menudo mucho que ver con fundamento teórico alguno. El libro *Magia naturalis* de Giambattista della Porta (1535-1615) es un buen ejemplo. Della Porta es famoso por haber fundado en Nápoles la primera sociedad científica, la Academia de los Secretos, y por ser miembro de la Accademia dei Lincei, la sociedad científica de principios del XVII de la que era miembro Galileo. En los primeros capítulos del libro de Della Porta se recapitulan los principios de un mundo conexo y se señala que la magia «es la contemplación de toda la naturaleza» y «la parte práctica de la filosofía natural». Aconseja al lector

> ser pródigo en el perquirir; y mientras perquire con atención y cuidado tiene que ser también paciente [...] ni tampoco debe ahorrar esfuerzos; porque los secretos de la naturaleza no son revelados a los ociosos e ignorantes.

Entre los secretos prácticos de la naturaleza que se revelan en el libro de Della Porta figuran observaciones sobre el magnetismo y la óptica, pero la mayor parte de la obra es una miscelánea de recetas para todo: fabricación de gemas y fuegos artificiales, cría de animales y cultivo de plantas, y consejos caseros para hacer perfumes, asar carne y conservar fruta, nada de lo cual se basa en ninguna concepción teórica del mundo. El libro de Della Porta encaja más bien en la tradición de los «libros de secretos» que se hicieron cada vez más populares en los siglos XVI y XVII, y algunos de los cuales se seguían reimprimiendo todavía en el XIX. Muchas de esas obras comienzan con una exposición de ideas grandiosas y excel-

sas sobre el cosmos, pero consisten básicamente en recetas caseras o artesanales y contienen poco o nada sobre la naturaleza del mundo.

En el otro extremo, el sublime, está Marsilio Ficino (1433-1499), cuya aplicación práctica de la conectividad del mundo se expresaba en modos de vida y rituales. Ficino se quejaba a menudo de su temperamento melancólico, y es posible que sufriera de lo que hoy llamamos «depresión». La medicina oficial de aquellos tiempos sostenía que la depresión estaba causada por un predominio de la bilis negra, uno de los cuatro «humores» del cuerpo cuyo equilibrio era necesario para que hubiese salud. De hecho, la palabra «melancolía» proviene del griego *melaina chole,* 'bilis negra'. (Análogamente, los temperamentos que hoy se siguen llamando sanguíneo, colérico y flemático eran consecuencia del predominio de uno de los otros tres humores corporales: sangre, bilis amarilla y flema, respectivamente; véase el capítulo 5). Ficino estudió la relación entre la vida académica y la melancolía, y propuso introducir cambios en el estilo de vida de sus colegas intelectuales para ayudar a resolver el problema. Formuló una dieta y los suplementos medicinales para prevenir la formación de un exceso de bilis negra en el cuerpo, y en su obra *Cómo obtener la vida de los cielos* propuso utilizar influencias celestes para contrarrestar este riesgo laboral de los académicos.

Los médicos consideraban que la bilis negra tenía las cualidades manifiestas de frío y seco. Como el planeta Saturno compartía estas cualidades, entre ambos existía, por tanto, una conexión simpática. Por consiguiente, en ese caso convenía evitar cualquier cosa que se hallara

en la red de correspondencias con la bilis negra y Saturno. Las cualidades opuestas del Sol (cálido-seco) y Júpiter (cálido-húmedo) contrarrestaban las cualidades de frío-seco de la bilis negra. Así pues, por extensión analógica, cualquier cosa de la red de correspondencias con el Sol y Júpiter podía ayudar a contrarrestar la melancolía intelectual. (La palabra «jovial» significa 'relativo a Júpiter', y es una muestra, conservada en nuestra lengua, de lo profundamente enraizado y aceptado que estaba realmente este razonamiento). Por tanto, para hacer uso de los vínculos simpáticos con el Sol, el humanista florentino sugería llevar vestidos amarillos o dorados, decorar la habitación con flores heliotrópicas, tomar el sol en abundancia, llevar encima oro y rubíes, tomar alimentos y especias «solares» (como el azafrán y la canela), escuchar y cantar música armoniosa y majestuosa, quemar mirra e incienso y beber vino con moderación.

Con todo, hubo quien opinaba que Ficino había ido demasiado lejos al sugerir (siguiendo a los antiguos neoplatónicos Plotino y Jámblico, cuyas obras había traducido del griego) la configuración de imágenes capaces de atraer y captar los poderes planetarios, práctica ciertamente cuestionable en un sacerdote católico, pues cabía en efecto interpretar que Ficino había traspasado la línea que separa la «magia natural» de la «magia espiritual», aunque quizá él no estuviera de acuerdo. La magia natural utilizaba las simpatías ocultas en la naturaleza, mientras que la espiritual solicitaba la ayuda de los seres espirituales: los *daimones* y dioses de la filosofía griega pagana, o los demonios y los ángeles de la teología cristiana. La primera era inobjetable, la segunda era conde-

nada (comprensiblemente) por los teólogos. La ortodoxia de Ficino fue puesta en entredicho, aunque al parecer no se llegó a tomar ninguna medida contra él por considerar que tales rituales se podían interpretar como enteramente físicos y medicinales, y por consiguiente del todo aceptables. Más de un siglo después, el fraile dominico Tommaso Campanella y el papa Urbano VIII utilizaron un ritual de luces, colores, olores y sonidos (no muy distinto del prescrito por Ficino) para contrarrestar los posibles efectos perniciosos de la pérdida temporal de las influencias solares benéficas durante un eclipse de Sol que, según las predicciones, acarrearía la muerte al pontífice. El Papa sobrevivió. Esta magia era natural por su intención, pero había quienes consideraban sospechosas semejantes aplicaciones.

En la actualidad, las aplicaciones de la *magia naturalis* y la idea misma de un mundo conexo de simpatías y analogías son rechazadas a veces como irracionales o supersticiosas. Pero este juicio tan severo es erróneo: tiene su origen en una cierta arrogancia y una falta de comprensión histórica. Lo que hacían nuestros antepasados era observar en la naturaleza determinados fenómenos misteriosos y aparentemente similares y extrapolar a partir de ahí para llegar a un enunciado más universal –una ley de la naturaleza– sobre las conexiones y la manera de transmitirse las influencias en el mundo. Esta extrapolación conducía a un principio que ellos defendían y nosotros no: que los objetos similares o análogos se influyen mutuamente de manera silenciosa. Una vez aceptado ese supuesto, el resto del sistema se levanta sobre él de manera racional.

La gente de aquella época intentaba comprender el mundo, entender las cosas y utilizar las fuerzas de la naturaleza. Se movía inductivamente desde casos observados o documentados hasta un principio general, para después pasar, deductivamente, hasta sus consecuencias y aplicaciones. Nosotros, con los conocimientos que nos proporcionan los estudios más recientes, preferimos decir que la acción entre el Sol y el girasol, entre la Luna y el mar o entre el imán y el hierro se puede explicar mejor con algo diferente de los ocultos nudos de simpatía. Pero ello no nos autoriza a decir que sus métodos o sus conclusiones fueran irracionales, ni que las creencias y las prácticas derivadas de ellos fueran «supersticiosas». Si estuviese permitido dar ese salto, entonces habría que considerar también irracionales y supersticiosas todas las teorías científicas que al final quedan descartadas en el desarrollo de la comprensión del mundo (incluidas, sin duda, algunas de las que hoy tenemos por explicaciones verdaderas de determinados fenómenos), en lugar de decir que eran nociones «equivocadas» obtenidas racionalmente con las ideas, perspectivas e información disponibles a la sazón.

Motivaciones religiosas de la investigación científica

La *magia naturalis* era sólo la expresión más enérgica de unas ideas (acerca del mundo conexo, del macrocosmos y el microcosmos y del poder de la semejanza) compartidas por casi todos. El mismo tipo de conexiones y el mis-

mo tipo de pensamiento se hallaban a menudo implícitos en la obra de filósofos de la naturaleza que nunca se pararon a pensar en la magia natural. Todos los pensadores de esta época estaban convencidos de la íntima conexión entre los seres humanos, Dios y el mundo natural, y por consiguiente, de la interconexión entre las verdades teológicas y científicas. Con ello se plantea el complejo problema de la ciencia frente a la teología o la religión.

Para entender la filosofía natural de la Edad Moderna, es necesario abandonar algunos supuestos y prejuicios muy comunes en nuestros días. En primer lugar, prácticamente toda la población europea, y ciertamente todos los pensadores mencionados en este libro, eran cristianos creyentes y practicantes. La idea de que el estudio científico, el actual o el de otras épocas, requiere un punto de vista ateo –o «escéptico», como se dice a veces, empleando un eufemismo– es un mito del siglo XX propuesto por quienes quieren convertir la propia ciencia en religión (generalmente con ellos mismos como jerarquía sacerdotal). En segundo lugar, para el hombre de la Edad Moderna las doctrinas del cristianismo no eran opiniones u opciones personales, sino que tenían la categoría de hechos naturales o históricos. Evidentemente, había discrepancias entre unas corrientes y otras acerca de las cuestiones más avanzadas de la teología o de la práctica ritual, igual que los científicos discuten hoy sobre cuestiones de detalle pero sin poner en tela de juicio la realidad de la gravitación, la existencia de los átomos o la validez de la empresa científica. La teología nunca se vio rebajada a la categoría de «creencia personal»; era, como la ciencia hoy, un corpus de hechos aceptados y al

mismo tiempo una búsqueda constante de verdades sobre la existencia. Por consiguiente, los principios teológicos estaban considerados parte de los datos con que trabajaban los filósofos naturales en la Edad Moderna. Las ideas teológicas desempeñaban un papel importante en la especulación y el estudio científicos, no como «influencias» externas, sino como parte íntegra del mundo estudiado por el filósofo de la naturaleza.

Mucha gente hoy día cree en un mito muy generalizado cuyo origen se remonta al siglo XIX: el de la épica batalla librada entre los «científicos» y las personas «religiosas». A pesar de que, lamentablemente, sigue habiendo en ambos bandos quienes lo perpetúan con sus actos, este modelo «conflictivo» ha sido rebatido por todos los historiadores de la ciencia contemporáneos, pues no refleja en absoulto la situación histórica. Ni en los siglos XVI y XVII ni en la Edad Media hubo lucha alguna del bando de los «científicos» para liberarse de la represión del de los «religiosos», porque simplemente no existieron en ningún caso esos dos bandos. Las historias que circulan sobre represiones y conflictos son, en el mejor de los casos, excesivamente reduccionistas, cuando no invenciones folclóricas (véase el capítulo 3 sobre Galileo).

La realidad es que los investigadores de la naturaleza eran ellos mismos personas religiosas y que entre los investigadores había muchos que incluso eran clérigos. El nexo entre el estudio teológico y el estudio científico descansaba en parte en la idea de «los Dos Libros» formulada por San Agustín y otros autores cristianos de la primera época, según la cual Dios se revela a los seres humanos de dos maneras diferentes: inspirando a los au-

tores sagrados que escribieron el Libro de la Sagrada Escritura y creando el mundo, es decir, el Libro de la Naturaleza. El mundo que nos rodea es, igual que en la Biblia, un mensaje divino destinado a ser leído; estudiando la creación, el lector receptivo puede aprender muchas cosas sobre el Creador. Esta idea, profundamente arraigada en el cristianismo ortodoxo, significa que el estudio del mundo puede ser en sí mismo un acto religioso. Robert Boyle, por ejemplo, consideraba que sus investigaciones científicas eran una especie de devoción religiosa (y por tanto especialmente idónea para practicarla los domingos) que potencia en el filósofo natural el conocimiento y la conciencia de Dios a través de la contemplación de su creación. Boyle describió al filósofo natural como un «sacerdote de la naturaleza» cuya misión era explicar e interpretar los mensajes escritos en el Libro de la Naturaleza, así como reunir y dar voz a la alabanza del Creador que se encuentra, silenciosa, en toda la Creación.

En resumen, el mundo imaginado por el hombre moderno era un mundo cósmicamente conexo en el que todas las cosas –los seres humanos, Dios y todas las ramas del conocimiento– eran partes inextricablemente unidas entre sí. En ciertos aspectos cabría decir que el reciente desarrollo de la ecología y las ciencias del medio ambiente recupera algunas de las líneas de esas ocultas redes de interdependencia que los filósofos de la naturaleza modernos veían en su universo. Sea como fuere, el mundo de los pensadores modernos, como el de sus predecesores medievales, era un mundo de conexiones, un mundo lleno de propósito y de sentido, y también de misterios, maravillas y promesas.

3. El mundo supralunar

Antes de la Edad Moderna, los cielos eran literalmente la mitad del mundo cotidiano de la gente. El cielo y sus movimientos no podían pasar inadvertidos. Resulta bastante irónico y trágico que, ahora que la ciencia nos proporciona mejores explicaciones que nunca del funcionamiento del mundo celeste, la tecnología moderna impida a la mayoría de la gente contemplar a simple vista sus movimientos nocturnos, sentir su presencia y admirar su belleza.

Para experimentar el impacto del cielo nocturno como lo experimentaron nuestros antepasados es necesario tener una vista despejada del cielo, lejos de la contaminación lumínica e industrial. Los pueblos antiguos conocían ya los movimientos celestes mucho antes de que se inventara la escritura. Pero encontrar la manera de explicarlos tuvo ocupadas a mentes muy perspicaces hasta el siglo XVIII. El gradual descubrimiento de

las estructuras ocultas de los cielos es una historia clave de la Revolución Científica. Los nombres más famosos de aquellos tiempos –Copérnico, Kepler, Galileo, Newton– son personajes principales de esa historia. Es más, los avances en el campo de la astronomía fueron durante mucho tiempo la verdadera historia de este periodo y en gran parte la razón de darle el nombre de «revolución».

Para el intelectual de 1500, el universo estaba dividido en dos reinos: el «mundo sublunar», compuesto por la Tierra y todo lo que había entre ella y la Luna, y el «mundo supralunar», compuesto por la Luna y todo lo que había más allá de ella. Esta división la había establecido Aristóteles basándose en la común observación de la dicotomía existente entre la inmutabilidad de los cielos y el continuo cambio de la Tierra. En el mundo sublunar, los cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego) están constantemente combinándose, disociándose y recombinándose; aparecen cosas nuevas y se desvanecen las que había antes. El mundo supralunar era muy distinto: era el reino de lo inmutable. Durante los siglos previos a Aristóteles, los astrónomos y los astrólogos habían observado el curso perfectamente regular de los planetas y las estrellas. Esta ausencia de cambios sugirió a Aristóteles la idea de que el mundo supralunar estaba compuesto de una única sustancia homogénea, un quinto elemento que llamó *aither,* el éter (autores posteriores lo llamarían «quintaesencia»), que por ser puro y elemental no podía ni cambiar ni descomponerse.

Trasfondo observacional

Los griegos iniciaron la larga empresa de «explicar» física y matemáticamente los movimientos celestes. Estos movimientos son más complejos y ordenados de lo que se cree generalmente hoy día. Todos conocemos el movimiento diario del orto y el ocaso. Todos los astros –el Sol, la Luna, los planetas, las estrellas– salen y se ponen una vez al día, moviéndose de Este a Oeste por el cielo. Pero otros movimientos celestes requieren una observación más paciente. Las estrellas –llamadas «fijas» porque no se mueven unas respecto a otras– tardan un poco menos de 24 horas en volver a la misma posición en el cielo. Eso significa que cada estrella sale cada noche un poco antes (aproximadamente cuatro minutos); por tanto, si contemplamos el cielo cada noche a la misma hora, observaremos que las constelaciones describen lentamente un gran arco alrededor de la única estrella que es inmóvil, la Estrella Polar, en el extremo de la Osa Menor (esto sólo es válido en el hemisferio norte). Las estrellas tardan un año en volver al mismo lugar del cielo que ocupaban a una determinada hora de la noche. La impresión es la de una gran cúpula llena de estrellas que gira alrededor de la Tierra una vez cada 23 horas y 56 minutos.

El Sol se mueve un poco más despacio: tarda 24 horas completas en efectuar una revolución. Eso significa que de un día al siguiente cambia de posición en relación con las estrellas: se mueve lentamente de Oeste a Este respecto al fondo de las estrellas y tarda un año hasta alinearse de nuevo con las mismas estrellas. La Luna describe un movimiento parecido, pero de manera mucho

más conspicua. Sale aproximadamente 50 minutos más tarde cada noche, de manera que si la observamos a la misma hora dos noches consecutivas, la veremos cada vez más al Este (el lector puede comprobarlo por sí mismo). Al cabo de 29 días la Luna vuelve a estar en el mismo sitio. Los planetas hacen lo propio, pero con un extraño giro que pide a gritos una explicación. La mayor parte del tiempo se comportan como el Sol y la Luna, moviéndose lentamente de Oeste a Este en relación con el fondo de las estrellas. Pero a determinados intervalos frenan, se paran, retroceden y se mueven en sentido opuesto, de Este a Oeste. Es lo que se llama «movimiento retrógrado». Al cabo de un tiempo, vuelven a pararse, dan la vuelta y emprenden su movimiento habitual.

Los antiguos griegos dieron el nombre de *planeta* (que significa 'viajero') a los siete cuerpos celestes que parecían moverse sobre el fondo de las estrellas fijas: el Sol, la Luna, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Pero los planetas, a pesar de su nombre, no viajan muy lejos; sus movimientos se limitan a una estrecha banda en el cielo: el Zodiaco. El Zodiaco se compone de doce secciones de igual longitud, cada una de las cuales contiene una sola constelación o «signo»: Aries, Tauro, Géminis, etc. A medida que los planetas efectúan su movimiento respecto al fondo de las estrellas, parece como si avanzaran por el Zodiaco, de una constelación a otra y de un signo al siguiente. El «signo» de una persona es el signo del Zodiaco en el que estaba el Sol el día de su nacimiento. Pero de astrología hablaremos dentro de un momento.

Antecedentes históricos

Platón estaba convencido de que los cielos se movían de acuerdo con leyes matemáticas armoniosas, inspirándose aquí en las ideas de los pitagóricos, una comunidad religiosa secretista que enseñaba que la matemática –el número, la forma geométrica, la razón y la armonía– era el verdadero fundamento tanto del universo como de la vida bien gobernada. Para Platón, y para quienes, desde entonces, se han inspirado en él, el Creador es un geómetra. Ahora bien, como los movimientos irregulares de los planetas parecían contrarios a la idea de un mundo matemático bien regulado, Platón afirmó que sus movimientos eran irregulares «únicamente en apariencia» y que había una regularidad divina que no podían ver nuestros ojos. Y como consideraba que el círculo era la forma más perfecta y regular, y que el movimiento circular, al no tener principio ni fin, era eterno, planteó a sus alumnos el desafío de explicar los movimientos aparentes de los planetas mediante combinaciones de «movimientos circulares uniformes». Este desafío fue durante más de dos mil años una fuente de inspiración para los astrónomos.

Eudoxo, discípulo de Platón, propuso un universo formado por esferas concéntricas, como las capas de una cebolla, con la Tierra en el centro. Cada esfera giraba de manera uniforme, pero los planetas recibían el movimiento combinado de varias esferas, dando (aproximadamente) el movimiento observado. El sistema de Eudoxo era un modelo «matemático»: lo que le interesaba no era el funcionamiento físico de los cielos, ni si las esferas tenían o no existencia real. Lo que le importaba era

explicar matemáticamente lo observado. Aristóteles, por el contrario, quería un modelo «físico». Transformó las esferas de Eudoxo en objetos sólidos y reales que literalmente arrastraban consigo a los planetas, y explicó la manera de transferir el movimiento de una esfera a la siguiente, como engranajes de una maquinaria celeste. Su logro fue construir una astronomía y una física que funcionasen juntas en armonía (Figura 2).

El problema del modelo de las esferas concéntricas es que no explicaba con precisión lo observado. Por ejemplo, los planetas cambian de brillo, como si unas veces estuviesen más cerca y otras más lejos; y por otro lado, las estaciones no tienen la misma duración. Ninguna de las dos cosas sería posible en el caso de que los planetas fuesen arrastrados por esferas geocéntricas (Figura 3).

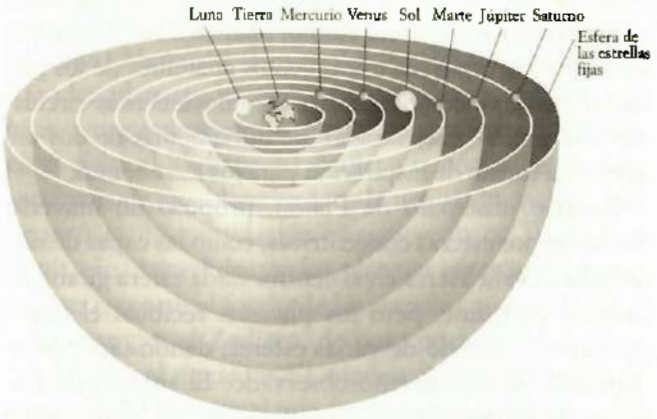


Figura 2. Versión simplificada del modelo de esferas concéntricas de Aristóteles (en sección transversal).

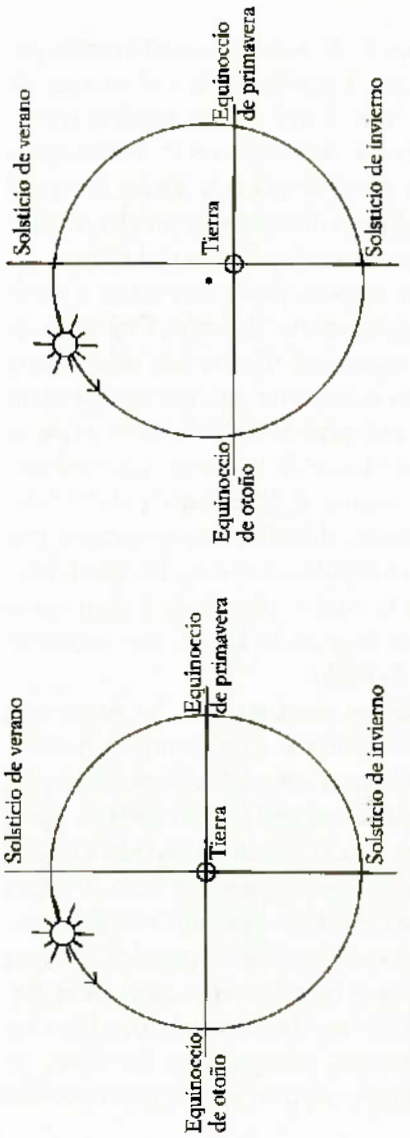


Figura 3. *(Izqda.)* Si la Tierra se hallase en el centro de la esfera solar, el movimiento anual aparente del Sol constaría de cuatro arcos iguales, con lo que las estaciones tendrían la misma duración; pero el verano es, de hecho, más largo que el invierno. *(Dcha.)* La Tierra excéntrica de Ptolomeo divide la trayectoria del Sol en cuatro arcos de longitud desigual, en correcta correspondencia con la desigualdad de las estaciones. Este modelo explica también por qué el Sol parece moverse más despacio en verano: en ese momento está más lejos de la Tierra.

Estos problemas fueron abordados posteriormente por otros astrónomos, hasta llegar finalmente al sistema de Claudio Ptolomeo (*c.* 90-168 d. C.). Para resolver el problema de la desigualdad de las estaciones Ptolomeo introdujo la *excéntrica;* es decir, desplazó la Tierra fuera del centro. En su sistema, cada esfera tiene su propio centro y ninguno de ellos coincide con la posición de la Tierra.

Para explicar mejor las posiciones planetarias y resolver el problema de las variaciones de brillo, Ptolomeo introdujo también los «epiciclos» (Figura 4). Cada planeta describe una pequeña trayectoria circular que tiene su centro en una esfera más grande (el deferente) y que es arrastrada por ésta alrededor de la Tierra. La combinación de los dos movimientos, el del epiciclo y el del deferente, hace que el planeta describa una trayectoria con bucles que explica extremadamente bien los movimientos observados, y en la cual el planeta está unas veces más cerca y otras más lejos de la Tierra, con las consiguientes variaciones de brillo.

El sistema de Ptolomeo predecía bien las posiciones planetarias, pero convencía más a las mentes matemáticas que a las físicas. La física aristotélica sostenía que los cuerpos pesados caen hacia el centro del universo, razón por la cual ese espacio está ocupado por la esfera terrestre y por la que caen los objetos pesados. Pero la Tierra de Ptolomeo no está en el centro: ¿por qué no cae entonces hacia él? ¿Por qué caen los objetos pesados hacia un punto distinto del centro? Esta discrepancia entre el modelo matemático y el sistema físico tuvo intrigados a los autores árabes medievales, mientras que las obras de Aristóteles y de Ptolomeo seguían siendo desconocidas

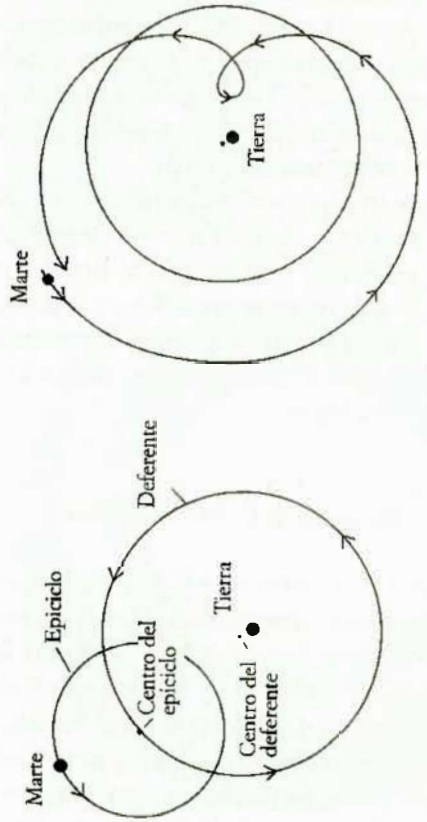


Figura 4. *(Izqda.)* Epiciclo y deferente ptolemaicos de un planeta. El planeta se mueve en sentido antihorario (mirando desde arriba hacia el Polo Norte de la Tierra) sobre el epiciclo, al tiempo que éste es arrastrado por el deferente, también en sentido antihorario. *(Dcha.)* El movimiento aparente del planeta como resultado de los movimientos combinados del epiciclo y el deferente. Cuando el planeta está fuera del deferente parece menos brillante y se mueve de Oeste a Este; dentro del deferente parece más brillante porque está más cerca, y en su máxima aproximación se mueve de Este a Oeste (retrogradación).

en Europa. Ibn al-Haytham, conocido también por el nombre de Alhacén (*c.* 965-1040), adoptó una solución intermedia. En su sistema, las esferas estaban centradas en la Tierra, lo cual contentaba a los físicos, pero al mismo tiempo eran como coronas esféricas de suficiente espesor y solidez como para contener en su interior túneles circulares, no centrados en la Tierra, a través de los cuales se movían los planetas en sus epiciclos y deferentes en consonancia con lo observado (Figura 5).

Los astrónomos europeos medievales heredaron estas ideas y estos problemas, y, al igual que sus homólogos árabes, siguieron refinando y mejorando el sistema, esforzándose por lograr la máxima precisión en la predicción de las posiciones planetarias y –menos frecuentemente– por elaborar un sistema que resultase satisfactorio desde el punto de vista físico.

Modelos astronómicos de la Edad Moderna

Nicolás Copérnico (1473-1543) ocupó durante la mayor parte de su vida un puesto administrativo de canónigo en la catedral de Frauenburg (hoy Frombork, Polonia). Estudió Derecho canónico en Bolonia y Medicina en Padua y se doctoró en Derecho por la Universidad de Ferrara en 1503. Estando en Bolonia empezó a estudiar astronomía, y hacia 1514 esbozó por escrito la idea de un sistema planetario centrado en el Sol y no en la Tierra. En ese sistema «heliocéntrico» (centrado en el Sol), la Tierra rota alrededor de su eje una vez al día, lo que crea la impresión de un universo que gira alrededor de la Tierra. El movimiento

THEORICAE NOVAE PLANETARVM GEORGII PVRBACHII ASTRONOMI CELEBRATISS.

DE SOLE

OI habet tres orbes a ſe iuicē omniquaq; diuiſos atq; ſibi cōtiguos Quoꝝ ſuprē/ mus ſecūdū ſuperficiē conuexā eſt mūdo cōcentricus: ſecūdū cōcauā aūt eccētricus Infimus uero ſecūdū cōcauā cōcentricꝰ: ſed ſecūdū conuexā eccētricꝰ Tertius aūt i hoꝝ medio locatus tam ſecūdū ſuper/ ficiem ſuā conuexā q̄ concauā eſt mūdo eccentricꝰ. Dicit' aūt mūdo cōcētricꝰ or/

THEORICA ORBIVM SOLIS.

Figura 5. Adaptación del modelo de coronas esféricas de Ibn al-Haytham popularizado por Georg Peurbach e incluido en ediciones del siglo XV y posteriores del *Tractatus de Sphaera* de Johannes de Sacrobosco, clásico libro de texto de astronomía. Esta ilustración de la edición de Venecia de 1488 muestra la esfera del Sol.

aparente del Sol por todo el Zodiaco es en realidad una ilusión óptica causada por el movimiento de la Tierra alrededor de aquél. El «bucle» y el movimiento retrógrado observados en Marte, Júpiter y Saturno no se deben a su propio movimiento sino a la combinación del nuestro y del suyo cada vez que la Tierra adelanta a uno de estos planetas en su carrera alrededor del Sol (Figura 6). Solamente la Luna gira alrededor de la Tierra.

La obra de Copérnico circuló en forma manuscrita y dejó bien establecida su reputación como astrónomo, hasta el punto de que en 1515, mientras se estudiaba en uno de los concilios de la Iglesia católica la reforma del viejo calendario juliano –en uso desde los romanos y necesitado ahora de una revisión–, se le pidió por escrito su opinión (a lo que contestó que primero había que calcular con más precisión la duración del año solar). Con todo, Copérnico se mostró reticente a publicar una exposición completa de su sistema. Siguió afinándolo durante más de veinticinco años, y de no haber sido por la insistencia de varias figuras destacadas de la Iglesia, quizás no lo habría publicado nunca. En 1533, por ejemplo, Johann Albrecht Widmannstetter, secretario personal del Papa, impartió cursos sobre el sistema copernicano para solaz de Clemente VII y de varios cardenales. El cardenal de Capua, Nicolaus Schönberg, escribió a Copérnico en estos términos:

> Tengo entendido que enseñáis que la Tierra se mueve: que el Sol ocupa el lugar inferior y por tanto central del mundo [...] y que habéis confeccionado comentarios de todo este sistema de astronomía [...] Por esta razón, os suplico vivamente que comuniquéis vuestro descubrimiento a los estudiosos.

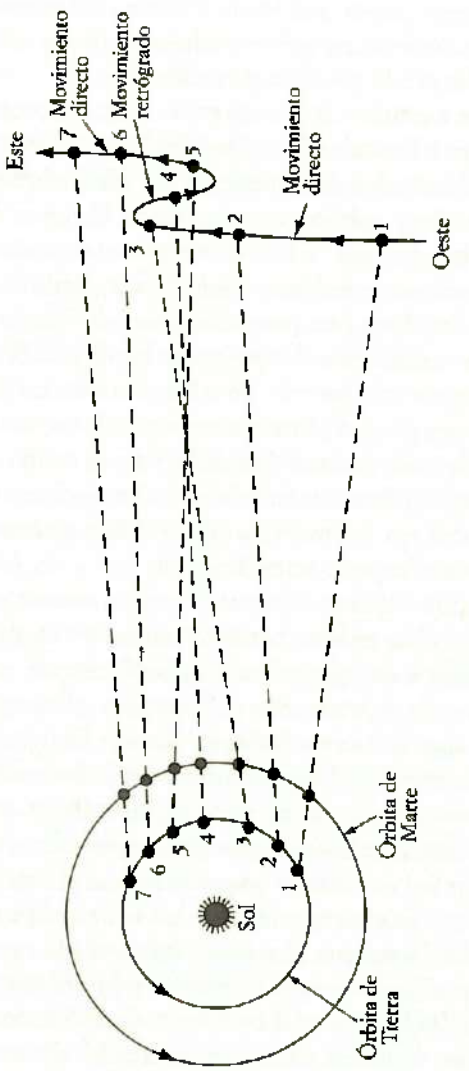


Figura 6. Explicación copernicana del movimiento retrógrado de uno de los planetas «superiores» o exteriores (Marte, Júpiter o Saturno). El «bucle» es una ilusión óptica que se produce cuando la Tierra adelanta a uno de estos planetas.

Pero Copérnico siguió poniendo excusas, enfrascado en sus obligaciones de canónigo y temeroso de las críticas provocadas por la novedad de su sistema.

En 1538 fue a estudiar con Copérnico un joven profesor de astronomía llamado Georg Joachim Rheticus, enviado desde la Universidad de Wittenberg por Melanchthon. Rheticus compiló y publicó un resumen de las ideas de Copérnico: la reacción fue suficientemente positiva como para que éste se aviniera finalmente a publicar el manuscrito completo, que puso en manos de Rheticus para que éste se encargara de supervisar la edición. Rheticus se comprometió a hacerlo, pero luego aceptó un trabajo en Leipzig y puso el proyecto en manos de un ministro luterano llamado Andreas Osiander. Éste se ocupó de la publicación, y el libro, titulado *Sobre las revoluciones de los orbes celestes,* vio finalmente la luz en 1543. Copérnico recibió un ejemplar poco antes de morir.

La publicación del libro no desató la crítica temida por Copérnico. La obra se leyó, pero sólo convenció a algunos. Hasta finales de siglo no hubo probablemente más de una docena de copernicanos convencidos. ¿Por qué? La razón es que el sistema heliocéntrico de Copérnico no se ajustaba mejor que el geocéntrico a las observaciones, ni tampoco era, desde el punto de vista físico, mucho más sencillo. En efecto, Copérnico seguía utilizando epiciclos y un Sol excéntrico para lograr que el sistema concordara con las observaciones. Y había una objeción más seria: una Tierra que se movía estaba reñida con la física elemental, con el sentido común y posiblemente con las Sagradas Escrituras. Los cuerpos pesados, como la Tierra, caen de forma natural al centro del universo,

su punto más bajo; este principio del «lugar natural» explica por qué caen los objetos pesados. Entonces ¿cómo es posible que la Tierra permanezca suspendida tan lejos del centro? El sentido común dice que no nos movemos. Para rotar una vez al día, la Tierra tendría que girar muy deprisa; pero no tenemos ninguna sensación de movimiento, y la Tierra, al girar, no deja atrás a las aves que vuelan por el aire ni a las nubes que flotan por encima de ella. Algunos pensadores medievales habían discutido ya la posibilidad de una Tierra en rotación. Nicolás Oresme (*c.* 1325-1382) llegó a la conclusión de que todos los movimientos son relativos y de que, sin un punto de referencia, es imposible decidir si es la Tierra la que rota o los cielos los que giran. Pero en su opinión, parecía más probable que la Tierra estuviese quieta y que fueran los cielos los que girasen.

Algunos lectores más literales de las Escrituras citaban pasajes que hablan de una Tierra estable y un Sol en movimiento, aunque las interpretaciones eran muy variables. Finalmente, si la Tierra se movía alrededor del Sol, las estrellas deberían mostrar paralaje, un pequeño desplazamiento de sus posiciones relativas aparentes a medida que la Tierra recorre su órbita. Sin embargo, no se detectaba paralaje alguna, lo que significaba que, o bien la Tierra no se movía, o las estrellas estaban a una distancia inimaginable. Campano de Novara, en el siglo XIII, calculó que la esfera de Saturno estaba a unos 117 millones de kilómetros –distancia descomunal incluso para los más viajados de aquellos tiempos–, y las estrellas fijas estarían justo detrás. Copérnico estimó la distancia de la esfera de Saturno en unos 64 millones de kilómetros,

pero la ausencia de paralaje estelar significaba (según cálculos posteriores) que las estrellas tenían que estar por lo menos 240.000 millones de kilómetros más lejos. Este enorme vacío resultaba absurdo para los lectores de Copérnico. (En realidad, la estrella más próxima está 170 veces más lejos que la predicción más conservadora hecha a partir de la ausencia de paralaje visible. La paralaje estelar no se descubrió hasta 1838).

Hubo varios factores que parecen haber convencido a Copérnico de la veracidad del heliocentrismo, aun en ausencia de pruebas observacionales. En el prefacio dedicado al papa Pablo III, Copérnico empleaba la palabra «monstruo» para referirse al sistema ptolemaico, con sus excéntricas, epiciclos y tratamiento separado de cada planeta. Señalaba que el mundo, habiendo sido «creado por el mejor artesano y el más regular de todos», debería ser armonioso. Copérnico, como buen humanista, se consideraba en la obligación de limpiar los «añadidos» posteriores para volver al reto original de Platón de mostrar la naturaleza ordenada de los movimientos celestes. Preocupado por el carácter «novedoso» de su sistema, trató de minimizar la apariencia de novedad citando algunos precedentes antiguos –como Aristarco de Samos, Pitágoras y un tal Nicetas mencionado por Cicerón–, e incluso reinterpretando algunos pasajes bíblicos a favor del heliocentrismo.

Sin embargo, para apreciar el valor del sistema copernicano no hacía falta considerarlo verdadero. En un sistema heliocéntrico era más fácil calcular las tablas para determinar las posiciones planetarias; por consiguiente,

algunos astrónomos lo adoptaron como «ficción conveniente». El propio Copérnico expuso el heliocentrismo como una descripción verdadera del mundo, aunque Osiander le desautorizó añadiendo subrepticiamente (sin firma) su propio prefacio al libro de Copérnico. Osiander escribió: «Somos absolutamente ignorantes de las verdaderas causas de los movimientos planetarios», y además:

> Estas hipótesis no necesitan ser verdaderas, ni siquiera verosímiles; basta una cosa, y es que proporcionen cálculos que concuerden con las observaciones [...] que nadie espere nada cierto de la astronomía, porque no puede proporcionar tal cosa, y que tampoco tome por verdadero lo concebido para otro propósito, so pena de salir de esta disciplina más estúpido de lo que entró.

De no haber sufrido Copérnico ya un ataque, podría haberlo tenido al leer las palabras de Osiander. Rheticus montó en cólera, y en su ejemplar del libro tachó el prefacio de Osiander.

La tensión radicaba una vez más entre los modelos matemáticos y los sistemas físicos. A la mayoría de los astrónomos les interesaba sobre todo saber dónde se encontraban los planetas en un momento dado; que el Sol girara alrededor de la Tierra o la Tierra alrededor del Sol no les importaba nada, y muchos dudaban de que alguna vez se pudiera llegar a estar seguros de la verdad. Una teoría astronómica sólo necesitaba tablas y cálculos que diesen correctamente las posiciones planetarias. Para la mayoría, los resultados prácticos pri-

maban sobre la teoría. Para entender esta situación hay que darse cuenta de que la principal fuerza impulsora de los estudios astronómicos desde antes de los tiempos de Ptolomeo fue la astrología, una labor práctica que exigía poder calcular al minuto las posiciones planetarias para fechas situadas a menudo muchos años atrás o en el futuro.

Astronomía práctica o astrología

La astronomía ('leyes de los astros') medía y calculaba las posiciones de los cuerpos celestes y formulaba hipótesis sobre los sistemas cosmológicos; la astrología ('estudio de los astros', igual que la geología, la biología, etc.) trataba de explicar y predecir los efectos de los cuerpos celestes sobre la Tierra. En general, estas dos actividades –la primera, teórica; la segunda, práctica– las desarrollaban las mismas personas. Muchos astrónomos de la Edad Moderna vivían fundamentalmente de la práctica de la astrología.

No hay que confundir la astrología antigua, medieval o moderna con las fruslerías de los «horóscopos de revista». La astrología era una práctica seria y sofisticada, basada en la idea de que los astros ejercen influencia sobre la Tierra: una parte fundamental de la idea de un mundo conexo. La mayor parte de la astrología medieval y moderna no es «mágica», sobrenatural ni irracional; está basada en mecanismos naturales que simplemente forman parte de la manera en que está hecho el mundo. Si la luz de los planetas nos llega hasta la Tierra, ¿por qué

no va ir acompañada esa luz de alguna otra influencia, igual que el fuego calienta los objetos que se encuentran a cierta distancia? La influencia de los cuerpos celestes sobre la Tierra es fácil de observar: la relación de la Luna con las mareas, o la de la posición zodiacal del Sol con el tiempo de las estaciones del año. También son claros los efectos sobre el cuerpo humano, como la sincronía del ciclo lunar con la menstruación.

La realidad de las influencias astrales parecía demasiado obvia como para cuestionarla; las múltiples controversias en torno a la astrología tuvieron más bien que ver con el alcance de estas influencias y la forma de predecir sus efectos con precisión. El sistema de influencias entrecruzadas de siete planetas cuya posición mutua cambia constantemente («aspectos») y que recorren indefinidamente doce signos zodiacales que a su vez pasan incesantemente por doce «casas» (posiciones relativas al horizonte) constituía un sistema increíblemente complicado. La complejidad de las indicaciones y contraindicaciones, de lo conocido y lo desconocido, es comparable a la tarea actual de identificar los factores del cambio climático mundial o de predecir las tendencias económicas futuras. Y es posible que, al lado de esta última, el índice de aciertos de los astrólogos de la Edad Moderna fuese más elevado.

La astrología comprendía varias ramas, en parte coincidentes. La astrología meteorológica intentaba predecir el tiempo para el año siguiente. Muchos practicantes de la astrología –a menudo llamados simplemente «matemáticos», lo que da idea de los cálculos que eran necesarios realizar– vivían de componer almanaques con calen-

darios, ciclos lunares, datos de los eclipses, predicciones meteorológicas (como el *Farmers' Almanac* o el *Calendario Zaragozano* de hoy día) y pronósticos de sucesos o tendencias importantes. La imprenta permitió abaratar y dar amplia difusión a estas publicaciones. Los médicos utilizaban la astrología médica para sugerir el momento más propicio para los tratamientos y el curso y las posibles causas de las enfermedades (véase el capítulo 5). La astrología natal utilizaba las posiciones de los planetas en la hora y lugar exactos del nacimiento de una persona para determinar las influencias «impresas» en el recién nacido. Se pensaba que cada combinación específica de influencias planetarias producía una «complexión» o constitución innata única en el sistema humoral, conducente a determinadas tendencias y rasgos. Estas tendencias (propensión a determinadas enfermedades, a la ira, a la pereza, a la melancolía, etc.) podían verse reforzadas temporalmente por subsiguientes alineamientos planetarios.

El objetivo de esta astrología era, por tanto, obtener información sobre la constitución natural de una persona con el fin de detectar sus puntos fuertes y flacos y avisar por adelantado de la llegada de tiempos potencialmente peligrosos o saludables. En variantes más fuertes, esta práctica se transformaba en una astrología judicial, que fue criticada por su inaceptable determinismo al afirmar que las influencias astrológicas regían las acciones y los destinos de las personas. Los teólogos condenaron tales ideas como violación del libre albedrío humano. Los eruditos de la Edad Moderna coincidían en que «los astros inclinan pero

no obligan» y en que *sapiens dominatur astris* ('el hombre sabio rige los astros').

En resumen, los seres humanos pueden siempre elegir sus acciones, aunque el ejercicio completamente libre de la voluntad podría estar sujeto a influencias externas (como, por ejemplo, una disminución pasajera de la capacidad de raciocinio debido a una irascibilidad temporal causada por un desequilibrio humoral como consecuencia de una posición determinada de Marte). De hecho, cabe trazar un paralelismo entre la astrología moderna y los actuales debates sobre «naturaleza o crianza» («¿uno nace o se hace?») en el intento de explicar el comportamiento humano. La gran diferencia, irónicamente, es que actualmente parece haberse olvidado la primacía del libre albedrío.

Parte de la astrología judicial intentaba identificar fechas propicias para empresas importantes. El matemático y mago John Dee (1527-1608/9) utilizó la astrología con el fin de elegir el mejor día para la coronación de Isabel I. Y también se hicieron horóscopos para la fundación de la Accademia dei Lincei, una de las primeras sociedades científicas, y para colocar la piedra angular de la nueva basílica de San Pedro en Roma. En algunos casos, las fechas astrológicas se elegían no para aprovechar una «influencia» favorable, sino para añadir significado a un acontecimiento, lo mismo que los científicos norteamericanos eligieron la fecha en que la sonda debía posarse en Marte para que coincidiera con el Día de la Independencia de Estados Unidos, por poner un caso.

Otras formas de astrología judicial intentaban predecir sucesos futuros, como las guerras o la muerte, aleján-

dose así en potencia de la causalidad natural con que se consideraba que operaba la astrología culta de la Edad Moderna. Una manera de evitar este problema era considerar ciertos fenómenos celestes, en particular los cometas, no como «causas» sino más bien como «portentos», es decir, como signos de origen divino anunciadores de sucesos futuros. El interés por los portentos celestes era más pronunciado en el norte de Europa, en la Europa protestante, debido en parte a un prefacio escrito por Philipp Melanchthon para las ediciones protestantes de la *Esfera* de Sacrobosco (un texto fundamental de astronomía), en donde se subrayaba la importancia de la astrología para leer los signos divinos en los cielos.

En resumen, la astrología, en sus diferentes ramas, fue una fuente de información útil para mejorar la vida de la humanidad; su ubicuidad en el pensamiento moderno pone de manifiesto hasta qué punto el mundo supralunar constituía verdaderamente la mitad del mundo cotidiano de la gente.

Cambios celestes y armonías divinas

Las preocupaciones astrológicas acerca de un portento celeste condujeron al debut del astrónomo y aristócrata danés Tycho Brahe (1546-1601). En noviembre de 1572 avistó un objeto brillante en la constelación de Casiopea, allí donde antes no había nada. Brahe se quedó atónito: ¿qué podría ser aquel objeto y qué significaba? En su almanaque astrológico de 1573 trató de explicar el objeto y concluyó que era un portento divino que anunciaba la

llegada de cambios tumultuosos. Brahe observó el punto brillante de luz y vio que no se movía como los cometas. Él y otros en Europa intentaron medir la paralaje diurna con el fin de determinar su distancia, pero no encontraron ninguna, lo que significaba que estaba mucho más lejos que la Luna y por tanto en el mundo supralunar, el reino que se consideraba exento de cambio. Y sin embargo era un «nuevo» astro. (El descubrimiento de Brahe era una supernova; los restos en expansión de esta detonación catastrófica se localizaron en 1952. El término *nova* viene de la expresión latina que utilizó Tycho Brahe para este objeto: *stella nova,* 'nueva estrella'.)

Poco después, en 1577, apareció en los cielos un brillante cometa. Aristóteles había postulado que los cometas, lo mismo que los meteoros, eran fenómenos sublunares causados por la ignición de exhalaciones inflamables en la atmósfera superior. Como objetos erráticos y mudables que eran, no podían tener cabida en el inmutable mundo supralunar. Astrológicamente, Tycho Brahe concluyó que el cometa de 1577 era una continuación del aviso dado por la nueva estrella; pero en este caso sí que detectó una paralaje diurna. Su medida, confirmada por otros, indicaba que el cometa se hallaba mucho más allá de la Luna, en la esfera de Venus. Tycho Brahe observó lo mismo en otro cometa brillante que apareció en 1585. Estos cometas constituían nuevas pruebas de la existencia de cambios en los cielos «inmutables», y su posición indicaba que «pasaban a través» de las esferas planetarias, lo que quería decir que no existían esferas sólidas que moviesen los planetas.

¿Qué era entonces lo que mantenía a los planetas en su curso regular? El hecho desconcertante de que los pla-

netas se liberaran de las esferas sólidas significaba que las trayectorias de los objetos celestes podían entrecruzarse, lo cual permitió a Tycho Brahe diseñar un nuevo sistema celeste que combinaba sus observaciones con lo mejor de los sistemas ptolemaico y copernicano, pero evitando las partes más objetables de ambos. En el sistema «geoheliocéntrico» de Brahe, la Tierra permanecía quieta en el centro, como dictaban el sentido común y las Escrituras, con la Luna girando alrededor de ella. Pero todos los planetas giraban en círculo alrededor del Sol, que orbitaba, junto con su séquito planetario, alrededor de la Tierra.

Mientras Tycho Brahe, desde el castillo-observatorio de Uraniborg que construyó en la isla de Hven (en el Sund danés), continuaba observando y haciendo las mediciones celestes más exactas efectuadas hasta entonces, Johannes Kepler (1571-1630), copernicano convencido, hacía descubrimientos asombrosos sobre el papel. En la última década del siglo XVI, siendo profesor en una escuela de Graz, Kepler le daba vueltas a una pregunta que a los científicos actuales no se les ocurriría plantear.

En el sistema copernicano ya no había siete planetas girando alrededor de la Tierra, como antes, sino sólo seis que giraban alrededor del Sol. Siete planetas era algo que concordaba bien con los siete días de la semana, los siete metales conocidos, los siete tonos de la escala musical y todos los demás sietes significativos que había en el mundo. Siete planetas era algo provisto de una agradable armonía, algo que encajaba bien en un mundo conexo. Seis, en cambio, no lo era. ¿Por qué había entonces seis planetas y sólo seis, y por qué los había colocado Dios a las distancias observadas? En el mundo de la Edad Moderna, un mundo lleno de sentido y de designio, todas las cosas encerraban un mensaje que había que descifrar.

El 19 de julio de 1595, mientras daba clase, cayó de pronto Kepler en la cuenta de que si se inscribe un polígono regular (triángulo, cuadrado, pentágono, etc.) en una circunferencia y luego se inscribe otra circunferencia dentro de ese polígono, el tamaño relativo de las dos circunferencias viene determinado por la elección del polígono. Todo excitado, comenzó a calcular las razones determinadas por los diferentes polígonos para ver si coincidían con las razones de las distancias planetarias a partir del Sol. No coincidían. Sin desanimarse, intentó lo mismo con esferas y poliedros en lugar de circunferencias y polígonos. En este caso, encajando las esferas y los poliedros en el orden correcto, comprobó que los tamaños de las esferas sí se correspondían con las distancias de los planetas al Sol predichas por la teoría copernicana. Además, como sólo existen cinco poliedros regulares (es decir, cuerpos geométricos con todas las caras idénticas, los llamados «cinco sólidos platónicos»: tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro) para utilizarlos como espaciadores, sólo puede haber *seis* esferas y por tanto exactamente *seis* planetas. El descubrimiento dejó asombrado a Kepler. Había encontrado la causa que explicaba el número de planetas y sus distancias, y había descubierto una estructura geométrica de los cielos cuya elegante belleza constituía la mejor prueba hasta entonces del sistema copernicano. La sorprendente correlación encontrada no podía ser fortuita; Kepler había descubierto el plan matemático con el que Dios había construido los cielos.

Kepler es un ejemplo de la unidad de la investigación humana, tan usual en la Edad Moderna. La investigación teológica no estaba separada de la científica: estudiar el mundo físico significaba estudiar la creación divina, y estudiar a Dios significaba aprender acerca del mundo. Una de las razones por las que Kepler se convenció de la verdad del sistema copernicano es que el universo heliocéntrico constituía una analogía física de la Santísima Trinidad: Dios Padre, simbolizado por el Sol en el centro; Dios Hijo, por la esfera de las estrellas fijas que recibe y refleja los rayos solares, y el Espíritu Santo, teológicamente el amor entre Padre e Hijo, simbolizado por el espacio lleno de luz entre los dos. Basándose en la idea de los Dos Libros, Kepler y sus contemporáneos tenían la certeza de que Dios colocaba mensajes en el edificio de la Creación para que los descubriese el hombre. Es decir, el principal motor de la investigación científica durante toda la Edad Moderna fueron las motivaciones teológicas, el deseo de leer esos mensajes en el Libro de la Naturaleza.

Kepler anunció su descubrimiento en su obra *Mysterium Cosmographicum* (*El secreto del universo,* 1596) y envió un ejemplar a Tycho Brahe. El danés le hizo a Kepler una propuesta de colaboración; éste declinó en un principio, pero cuando Brahe se trasladó a la corte del emperador Rodolfo II en Praga como consejero imperial, se fue allí con él en 1600. A la muerte del aristócrata danés al año siguiente, el emperador dio a Kepler el cargo de matemático imperial. Kepler, a quien Brahe había encargado el estudio de los movimientos de Marte, llegó a una conclusión sorprendente tras una larga lucha tratando de dar al planeta una trayectoria que se ajustara a las posiciones observadas por Tycho Brahe. Halló que la mejor manera de explicar las posiciones del planeta era suponer que se movía en una elipse, no en un círculo. Kepler rompió así, a regañadientes, con dos mil años de tradición astronómica centrada en las trayectorias circulares.

Pero si, en palabras de Kepler, Brahe había «hecho pedazos las esferas cristalinas», ¿qué obligaba a los planetas a moverse en trayectorias elípticas? Kepler defendió la existencia en el Sol de una *anima motrix,* una fuerza motriz que empujaba a los planetas. Esta fuerza, igual que la luz solar, disminuía con la distancia, por lo cual, cuanto más lejos del Sol estuviese el planeta, más lento se movería. Basándose en la tesis propuesta poco tiempo antes por William Gilbert (1544-1603) de considerar la Tierra como un imán gigante (véase el capítulo 4), Kepler postuló una segunda fuerza solar, análoga al magnetismo, que atraía a los planetas en algunos puntos y los repelía en otros. La combinación de *anima motrix* y virtud «magnética» mantenía a los planetas en trayectorias elípticas sin necesidad de esferas gobernantes, con un movimiento más rápido cuando eran atraídos hacia el Sol y más lento cuando eran empujados lejos de él. Aun teniendo que abandonar el movimiento circular uniforme, Kepler debió de sentirse satisfecho con haberla sustituido por otra ley uniforme: la «ley de las áreas», que dice que la línea trazada desde el Sol hasta un planeta barre áreas iguales en tiempos iguales a medida que se mueve el planeta.

Análogamente, aun habiendo contribuido al desmantelamiento del cosmos aristotélico, Kepler, en el subtítulo de su

Compendio de Astronomía Copernicana, indicó que la obra era un «suplemento» al *De caelo (Del cielo)* de Aristóteles. La filosofía natural moderna se caracteriza por la continuidad y el cambio, por la innovación y la tradición.

Los telescopios y el movimiento de la Tierra

Brahe, el más grande de los observadores sin instrumentos ópticos, fue también uno de los últimos. Mientras Kepler hacía cálculos, Galileo Galilei (1564-1642), enterado de la existencia de un instrumento holandés que acercaba los objetos distantes, fabricó una versión mejorada y apuntó con ella a los cielos en 1609. Adondequiera que dirigió su *occhiale* (el instrumento que más tarde se llamó «telescopio») hizo un nuevo descubrimiento. Descubrió que la superficie lunar estaba cubierta de montañas, valles y océanos, es decir, que tenía el mismo aspecto que la Tierra y que, por tanto, estaba constituida por los mismos cuatro elementos, no por la quintaesencia aristotélica. Alrededor de Júpiter vio que giraban cuatro lunas, como una especie de pequeño sistema planetario: en honor de Cosme II de Médici, gran duque de Toscana, les dio el nombre de «astros mediceos», con lo cual se ganó un mecenas y una promoción. Descubrió también que Saturno tenía una forma extraña, algo así como tres esferas juntas. Halló asimismo que el planeta Venus tenía fases como la Luna, descubrimiento que constituyó la primera prueba sólida contra el sistema ptolemaico, en el que Venus no podía ser nunca más que un creciente por hallarse siempre entre el Sol y la Tierra.

El hecho de observar una fase creciente y una fase llena en Venus probaba que el planeta tenía que estar unas veces entre nosotros y el Sol, y otras al otro lado de éste, es decir, que tenía que orbitar alrededor de él. De ahí en adelante, los astrónomos tendrían que elegir entre distintas versiones de los sistemas ticónico y copernicano (Figura 7). La cuestión de la movilidad de la Tierra –el único punto que separaba a Tycho Brahe de Copérnico– adquirió así una importancia primordial.

Galileo dio rápidamente a la imprenta estos primeros descubrimientos con el título de *El mensajero sideral* (1610), y envió la obra a astrónomos y gobernantes de toda Europa, junto con un telescopio de regalo. A muchos no les resultó fácil ver lo descrito por Galileo, porque aquellos telescopios eran todavía instrumentos de pocos aumentos, de óptica deficiente y de manejo complicado.

Un respaldo decisivo fue el que recibió Galileo de los astrónomos jesuitas de Roma, que confirmaron y prosiguieron sus observaciones y le ofrecieron un banquete en 1611. El decano del Collegio Romano, Christoph Clavius (1538-1612), uno de los matemáticos más respetados de Europa, que diseñó el nuevo calendario gregoriano introducido en 1582 por el papa Gregorio XIII (calendario que sigue hoy en uso), escribió que los descubrimientos de Galileo exigían repensar la estructura de los cielos. Aunque Clavius y muchos otros eran partidarios del geocentrismo, es probable que algunos de los astrónomos jesuitas más jóvenes se hubiesen convertido ya al heliocentrismo. Estas excelentes relaciones no podían hacer olvidar, sin embargo, las disputas de Galileo con dos

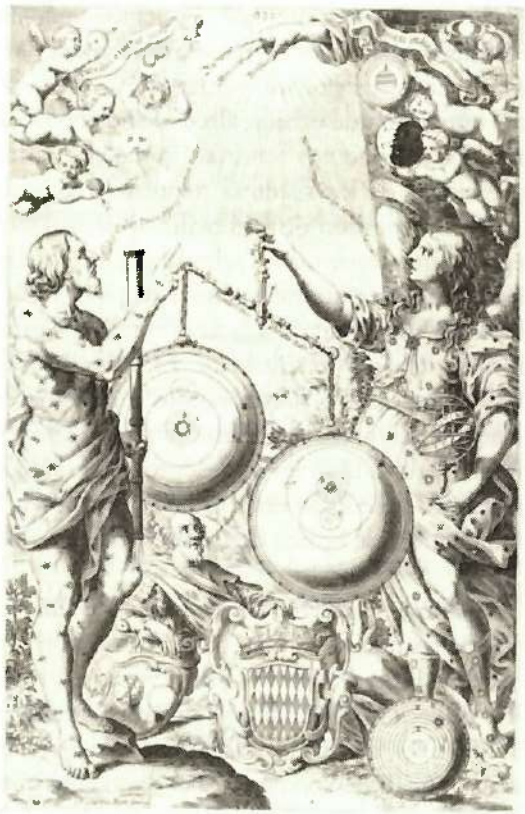


Figura 7. Los tres sistemas del universo comparados en el frontispicio emblemático del *Almagestum novum* de Giovanni Battista Riccioli (Bolonia, 1651). Astrea, diosa de la justicia, sopesa el sistema copernicano y el de Riccioli (una ligera modificación del ticónico), mientras Ptolomeo permanece reclinado al lado del suyo, ya descartado. Arriba, portados por querubines, aparecen los planetas en los que se habían hecho descubrimientos recientemente: las fases de Mercurio y Venus, la superficie rugosa de la Luna, los satélites de Júpiter y las «asas» de Saturno. La mano divina bendice el mundo; los tres dedos en posición extendida están marcados con las palabras «medida, número y peso» (Sabiduría 11: 20), expresando el orden matemático de la Creación.

astrónomos jesuitas, en las que a menudo se comportó de forma insultante: con Christoph Scheiner, sobre la prioridad del descubrimiento y naturaleza de las manchas solares, y con Orazio Grassi, sobre los cometas (Grassi apoyaba las mediciones de Brahe en el sentido de que los cometas eran cuerpos celestes, mientras que Galileo insistía en que eran ilusiones ópticas sublunares).

No hay episodio en la historia de la ciencia más expuesto a mitificaciones y malentendidos que el de Galileo y la Iglesia. Lo que aconteció fue el resultado de una maraña tan intrincada de asuntos intelectuales, políticos y personales, que los historiadores siguen aún hoy día tratando de desenredarla. El asunto no fue una simple cuestión de «ciencia contra religión». Galileo tenía partidarios y opositores tanto dentro como fuera de la jerarquía eclesiástica. Lo que sucedió tiene más que ver con sentimientos heridos, intrigas políticas, opiniones acerca de quién tenía autoridad para interpretar las Escrituras, el hecho de estar donde no se debe en el momento menos oportuno y el verse atrapado entre facciones rivales de la Iglesia.

El detonante final fue la publicación por Galileo del *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo* en 1632 por Galileo, en el cual comparaba los sistemas ptolemaico y copernicano, considerando evidentemente este segundo como verdadero y la Tierra como móvil. La principal prueba aportada por Galileo era la idea de que las mareas estaban causadas por el movimiento terrestre, en lo cual se equivocaba, a pesar de tener razón en cuanto al movimiento de la Tierra. A la Iglesia no le iba nada en la cuestión de qué sistema era verdadero; ni el geocen-

trismo ni el aristotelismo fueron nunca dogma eclesiástico. Pero en lo que sí estaba interesada era en la interpretación bíblica, y el hecho de que la Tierra se moviese tenía implicaciones para la exégesis. A eso se añadía el que, a principios de la década de 1610, Galileo se había entrometido de manera un tanto atolondrada en este asunto en apoyo de sus ideas.

Esta ligereza en el trato con las Escrituras recordaba a las licencias que solían tomarse en aquel tiempo los protestantes para rechazar interpretaciones tradicionales en favor de las suyas personales. Así las cosas, en 1616 se le dijo a Galileo –y éste accedió– que tratase el heliocentrismo y el movimiento de la Tierra como hipótesis, y no como hechos literalmente verdaderos, hasta contar con pruebas fehacientes. En 1624 recibió Galileo permiso de su amigo Maffeo Barberini, a la sazón papa Urbano VIII, para escribir el *Diálogo,* a condición de incluir el argumento metodológico papal de que un fenómeno natural (como el de las mareas) podía tener varias causas posibles, algunas de las cuales podían ser incognoscibles, por lo cual no cabía atribuirle una única causa con absoluta certeza. Galileo aceptó, pero luego colocó el argumento en la última página del libro, en boca del personaje que hace de simplón. Galileo «omitió» asimismo informar al Papa sobre el acuerdo adoptado en 1616. Cuando se publicó el libro (con la aprobación de los inspectores y censores del Vaticano) y salieron a la luz los hechos reseñados, Urbano VIII se enfureció, y se sintió engañado y humillado. Para colmo de males, este disgusto insignificante sobrevino en un momento en el que Urbano estaba agobiado por las negociaciones diplomáticas de la Guerra de los Treinta Años, la

creciente oposición contra su persona, las intentonas de destituirle y los rumores de su muerte inminente. La Inquisición amañó un acuerdo táctico que habría enviado a Galileo a su casa con un golpe en los nudillos, pero el Papa, furioso, se negó a aceptarlo, insistiendo en dar a Galileo un castigo ejemplar: se le ordenó abjurar del movimiento de la Tierra (cosa que hizo) y su libro fue prohibido. Un dato significativo es que varios cardenales, entre ellos el sobrino de Urbano, se negaron a firmar la sentencia de Galileo. Mitos y leyendas aparte, Galileo nunca fue condenado por hereje, ni fue encarcelado ni encadenado.

Galileo acabó cumpliendo arresto domiciliario en su villa de las colinas toscanas. Allí continuó trabajando y formando alumnos, y allí escribió también lo que quizá sea su obra más importante, *Dos nuevas ciencias*. El impacto de la sentencia dictada contra él es difícil de calibrar. Por un lado, hizo que algunos filósofos de la naturaleza se mostraran reticentes a expresar sus convicciones copernicanas. La noticia de la condena de Galileo hizo por ejemplo que René Descartes (1596-1650) retirara un libro recién terminado en el que abrazaba el heliocentrismo. Los miembros de las órdenes católicas, como los jesuitas, no podían ya apoyar abiertamente el sistema copernicano, de modo que adoptaron el sistema ticónico o alguna de sus variantes (Figura 7), aunque a veces con un guiño de complicidad. Por otro lado, la investigación científica, incluida la astronomía, siguió desarrollándose en Italia y en otros países católicos, si bien es cierto que, a veces, esquivando las cuestiones delicadas.

A partir de mediados del siglo XVII, tras las convulsiones conceptuales de las dos generaciones anteriores, los

avances en el campo de la astronomía fueron más observacionales y técnicos que teóricos. El sacerdote francés Pierre Gassendi (1592-1655) fue el primero en presenciar, en 1631, un tránsito de Mercurio por el disco solar, como había predicho Kepler, muerto en 1630. La mejor calidad de los telescopios condujo a nuevos descubrimientos y a mejores mediciones, aunque la necesidad de evitar las distorsiones de las aberraciones esférica y cromática obligaba a fabricar telescopios más largos y difíciles de manejar, con tubos que superaban a veces los 18 metros de longitud.

Con todo, se consiguió resolver la extraña forma de Saturno en un sistema de anillos, y en 1656 descubrió Christiaan Huygens (1629-1695) la luna más grande de este planeta. Gian Domenico Cassini (1625-1712), trabajando en París con ayuda de la superior calidad de los telescopios fabricados por el óptico romano Giuseppe Campani, añadió otras cuatro lunas, a las que dio el nombre de *Sidera Lodoicea* ('los astros de Luis') en honor del monarca francés Luis XIV. El jesuita Giovanni Battista Riccioli (1598-1671) elaboró un nuevo catálogo de estrellas y –en colaboración con su colega Francesco Maria Grimaldi (1618-1663)– un detallado mapa lunar con muchos de los nombres que se siguen utilizando hoy para sus accidentes, entre ellos el de Copérnico, uno de los cráteres más notables. En Gdansk, Johannes Hevelius (1611-1687), probablemente la última persona en efectuar mediciones meticulosas tanto con el telescopio como a simple vista, elaboró otro mapa lunar, se dedicó también a la observación de cometas y participó en el debate que hubo en toda Europa acerca de si el movimiento de estos cuerpos era rectilíneo o en órbita curvilínea alrededor del Sol.

El problema de por qué los planetas se movían de manera permanente en órbitas constantes sin la ayuda de esferas sólidas continuó siendo objeto de especulación. El sistema general del mundo propuesto por Descartes se convirtió en uno de los más importantes del siglo XVII. Descartes imaginó el espacio como lleno todo él de ínfimas partículas de materia invisibles que se mueven constantemente en corrientes circulares o vórtices. Nuestro sistema solar sería un gigantesco vórtice de partículas que arrastra consigo a los planetas, como arrastra un remolino de viento los trocitos de paja. El modelo de los vórtices explicaba perfectamente por qué los planetas se mueven todos en la misma dirección y casi en el mismo plano. La Tierra estaba en el centro de un vórtice más pequeño que mantenía a la Luna en su órbita, y el torbellino de materia alrededor de la Tierra creaba un «viento» que empujaba a los objetos hacia el centro de ésta y producía así el fenómeno de la gravedad. La teoría de los vórtices de Descartes, que daba una explicación comprensible de los movimientos celestes, tuvo gran difusión a través de libros de divulgación y de texto, pero era demasiado imprecisa para ser de utilidad práctica en la astronomía.

Uno de los que abrazaron la teoría cartesiana de los vórtices fue el joven Isaac Newton (1643-1727). Ya siendo estudiante en Cambridge, a principios de la década de 1660, estudió Newton las obras de Aristóteles, que seguían siendo los textos clásicos para estudiantes no licenciados en la mayoría de las universidades. Sin embar-

go, no tardó en acometer, al margen de sus estudios, la lectura de autores «modernos» como Descartes, para acabar adoptando una versión modificada de los principios cartesianos, tanto de los movimientos planetarios como de la gravedad. A principios de la década de 1680 empezó sin embargo a pensar de manera diferente. Descartó los vórtices cartesianos y se centró en la existencia de una fuerza de atracción entre el Sol y los planetas. La idea provenía de varias fuentes, principalmente de los conocidos fenómenos del magnetismo y de la fuerza «parecida al magnetismo» postulada por Kepler entre el Sol y los planetas. Según Kepler, las órbitas elípticas de los planetas eran producto de la combinación del *anima motrix* y de ese «magnetismo». Para Newton, lo que producía órbitas elípticas estables era el equilibrio entre la inercia (la tendencia del planeta a moverse en línea recta tangente a la órbita) y la fuerza de atracción (lo que llamamos gravitación) hacia el Sol.

Varios miembros de la Royal Society de Londres, en particular Robert Hooke (1635-1703), habían seguido líneas de trabajo similares con el fin de explicar el movimiento planetario. Hooke comunicó a Newton por escrito sus ideas en 1679-1680. La posterior queja de Hooke de que Newton se había apropiado de ellas sin un reconocimiento claro llevó a Newton, hipersensible hasta el límite de lo neurótico, a expurgar toda referencia a Hooke en sus escritos y a dispensarle un trato hostil el resto de su vida. El gran logro de Newton, publicado en los *Principios matemáticos de la filosofía natural* (1687), consistió en volver a derivar de manera puramente matemática las leyes del movimiento planetario que Kepler

había deducido empíricamente a partir de las observaciones de Tycho Brahe, y en dar a la gravitación un carácter verdaderamente universal, en el sentido de hallarse presente entre dos trozos cualesquiera de materia. No cabe duda de que Kepler se habría sentido complacido al contemplar una prueba más del armonioso plan matemático con el que Dios había creado el mundo. La ley de la gravitación universal de Newton borró las últimas huellas de la antigua distinción entre la física terrestre y la celeste: la revolución de los planetas y la caída de una manzana estaban gobernadas por la misma ley.

Pero no todos estaban contentos. Al recuperar la idea de las fuerzas atractivas, parecía como si Newton estuviera haciendo revivir una idea muy poco querida durante unos setenta años. Esta fuerza invisible e inmaterial, que no tenía mecanismo ni causa identificable alguna y que actuaba entre todos los cuerpos, no sólo era menos comprensible que los vórtices materiales cartesianos, sino que a muchos se les antojaba una vuelta a las «cualidades ocultas» de los aristotélicos o a las simpatías de la magia natural. En efecto, la vanguardia de la filosofía natural en la segunda mitad del siglo XVII había estado tratando de explicar como un intercambio mecánico de partículas invisibles lo que en apariencia eran atracciones y simpatías (véase el capítulo 5); ahora parecía como si Newton diese marcha atrás.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), con quien Newton sostuvo una disputa de prioridad en torno a la invención del cálculo, acusó a la «cualidad atractiva oculta» de Newton de «confundir los principios de la verdadera filosofía» y de «devolverla a los viejos asilos de

la ignorancia». Mientras los apologetas de Newton afirmaban que la atracción gravitatoria era simplemente «causa», una propiedad fundamental de la materia, él mismo se empeñó en encontrar la de la gravedad. El método que siguió para encontrar la respuesta nos recuerda que Newton no fue un «científico de nuestra época» nacido accidentalmente en el siglo XVII. Newton, quizá con una modestia poco característica en él, se consideraba nada más que el redescubridor de la ley de la gravitación universal conocida ya por los antiguos. Newton creía en la *prisca sapientia,* idea que gozó de gran favor entre muchos humanistas del Renacimiento, relacionada con una «sabiduría original» revelada por Dios tiempo ha y corrompida desde entonces. Newton puso todo su empeño en interpretar los mitos griegos, los pasajes bíblicos y los *Hermetica* para demostrar que encerraban ideas sobre la estructura oculta del mundo, incluida su propia ley del inverso del cuadrado o ley de la gravitación.

Newton parecía pensar que la atracción gravitatoria era consecuencia de la acción directa y continua de Dios en el mundo (y que los antiguos creían lo mismo). Al igual que Kepler, que creía haber desvelado el plan geométrico de Dios, Newton se consideraba el elegido para restaurar el conocimiento antiguo –y no sólo el científico–. Dedicó años a los estudios teológicos e históricos en la creencia de que el cristianismo, como cualquier otro conocimiento, se había corrompido con el tiempo, e intentó restaurar su presunta teología «original», que no incluía, por ejemplo, la divinidad de Cristo. Newton se entregó también al estudio de la cronología antigua, entre otras razones para obtener dataciones fia-

bles con las que interpretar las profecías bíblicas sobre el fin del mundo. Volvemos a encontrar aquí la visión más amplia, más inclusiva de la filosofía natural en comparación con la de la ciencia actual. Newton veía «la tarea de la filosofía natural como la restauración del conocimiento de todo el sistema del cosmos, incluido Dios como creador y agente siempre presente».

4. El mundo sublunar

Mientras muchos filósofos de la naturaleza en la Edad Moderna alzaban su mirada hacia los cielos, un número aún mayor dirigía la suya hacia las cosas de la Tierra. El mundo sublunar era el reino de la Tierra y de sus cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego), el reino del cambio, del nacer y del morir, un mundo dinámico de transformaciones incesantes. Los objetos y los elementos pesados (tierra y agua) caían de forma natural hacia el punto más bajo del universo, su centro, donde la Tierra permanecía en reposo. Los elementos ligeros (aire y fuego) ascendían hacia la esfera de la Luna, el límite superior de los cuatro elementos. Así, cada elemento encontraba su «lugar natural» en el esquema de las cosas, mediante un «movimiento natural» en función de su gravidez o levedad. El sistema aristotélico explicaba por qué las rocas y la lluvia caen mientras que el humo sube y la llama de una vela apunta siempre hacia arriba. En el mundo su-

pralunar, por el contrario, los cuerpos celestes estaban compuestos de quintaesencia, que, al no ser ni pesada ni ligera, ni subía ni bajaba, sino que se movía en eterno movimiento circular alrededor de la Tierra.

El hombre de la Edad Moderna reexaminó la Tierra, los elementos y los procesos de cambio y movimiento y formuló una serie de sistemas para comprender las cosas. Algunos de esos sistemas tenían el expreso propósito de reemplazar la visión aristotélica del mundo; otros sólo trataban de refinarlo y prácticamente ninguno de ellos estaba completamente libre de la influencia de Aristóteles. El resultado de observar, experimentar y repensar el mundo sublunar no fue la formulación gradual de una única visión del mundo conducente a la perspectiva científica actual, sino más bien la formulación de sistemas que rivalizaron y compitieron entre sí a lo largo del siglo XVII para ganarse el reconocimiento y la primacía.

La Tierra

Los filósofos de la naturaleza en la Edad Moderna pensaban que la edad de la Tierra, igual que la del resto del cosmos, era solamente de algunos miles de años. La cronología proporcionada por la Biblia, el texto más antiguo disponible, situaba el comienzo del linaje humano hacía unos 6.000 años. Aunque sólo algunos interpretaban las palabras del Génesis 1 como una cronología literal, con seis días de creación de veinticuatro horas cada uno (San Agustín había rechazado ya semejante literalidad en el siglo V), nadie pensaba seriamente que la histo-

ria de la Tierra anterior a la aparición del hombre pudiese extenderse mucho más allá en el tiempo.

Las estimaciones más generosas situaban la Creación 10.000 años atrás. No era un dogma, pero tampoco había pruebas que hiciesen pensar otra cosa. La idea de la historia geológica surgió con la obra de Niels Stensen (1638-1686), más conocido por su nombre latinizado de Nicolás Steno. Nacido en Dinamarca, Steno se dedicó primero a la anatomía y adquirió fama por su destreza en la disección, con la que hizo importantes descubrimientos como el del conducto parotídeo, conocido hoy como conducto de Steno o de Stensen. Al igual que muchos otros filósofos naturales de su tiempo, visitó los centros de erudición europeos para conocer a otros filósofos e intercambiar conocimientos. En la década de 1660 se estableció en Florencia bajo el patrocinio de los Médici y empezó a estudiar las capas de roca o estratos que se observan en las colinas toscanas y las conchas marinas incrustadas en ellas. Llegó a la conclusión de que estos estratos tuvieron que ser en otro tiempo barro blando depositado gradualmente por sedimentación y que, por consiguiente, los estratos inferiores tenían que ser más antiguos que los superiores. Concluyó asimismo que cuando los estratos no eran horizontales, quería decir que se habían deformado a causa de algún cataclismo ocurrido después de petrificarse. Estas conclusiones no llevaron a Steno a revisar al alza las estimaciones de la edad de la Tierra –al fin y al cabo, el barro puede endurecerse y convertirse en ladrillo relativamente deprisa–, pero indicaban que la superficie de la Tierra estaba sometida a drásticos cambios y que las rocas conservan un registro de estas transformaciones.

Hacia finales de siglo hubo varios autores –especialmente en Inglaterra– que, apoyándose en el trabajo de Steno, compilaron historias de la Tierra con el propósito de explicar su aspecto actual. La mayoría de ellos apuntaron a catástrofes planetarias como agentes causales, intercalando relatos bíblicos con otros históricos, junto a ideas y observaciones de la filosofía natural. *La Teoría Sagrada de la Tierra* (1681) de Thomas Burnet proponía seis eras geológicas marcadas por catástrofes bíblicas. Edmond Halley (1656-1742) y William Whiston (1667-1752), ambos socios de Newton, sugirieron que uno de los principales artífices de la historia de la Tierra podía ser el impacto de cometas, causantes de fenómenos como la inclinación del eje de nuestro planeta y el Diluvio universal.

El polímata jesuita Athanasius Kircher estudió de primera mano los cambios de la superficie terrestre. Estando en Sicilia en 1638 presenció un violento terremoto y la erupción del Etna. El vulcanismo no había sido hasta entonces objeto de estudio, en gran parte porque el Vesubio, el único volcán activo en el continente europeo, llevaba inactivo más de trescientos años antes de su repentina y letal erupción en 1631. Kircher se desplazó hasta allí para observar la erupción e incluso descendió al cráter para tener mejor vista. Observó cómo la acción volcánica destruye montañas y forma otras nuevas, modificando de manera drástica el paisaje. Atribuyó el calor volcánico a la inflamación subterránea de azufre, bitumen y nitro (una combinación parecida a la pólvora). Observando que la cantidad de fuego y roca fundida emitida era demasiado grande para ser producida dentro

de la propia montaña, supuso que los volcanes tenían que ser como válvulas u orificios de salida para los inmensos fuegos que había en las entrañas de la Tierra. Llegó así a la conclusión de que la Tierra no puede estar simplemente hecha «de barro y arcilla apelmazados después del Diluvio, como si fuese un pedazo de queso», sino que tiene una estructura interna compleja y dinámica. Imaginó el interior de la Tierra plagado de pasajes y cámaras (Figura 8), unos para conducir el fuego hasta los orificios exteriores a partir de un núcleo central abrasador (Kircher nunca identificó este núcleo con el infier-

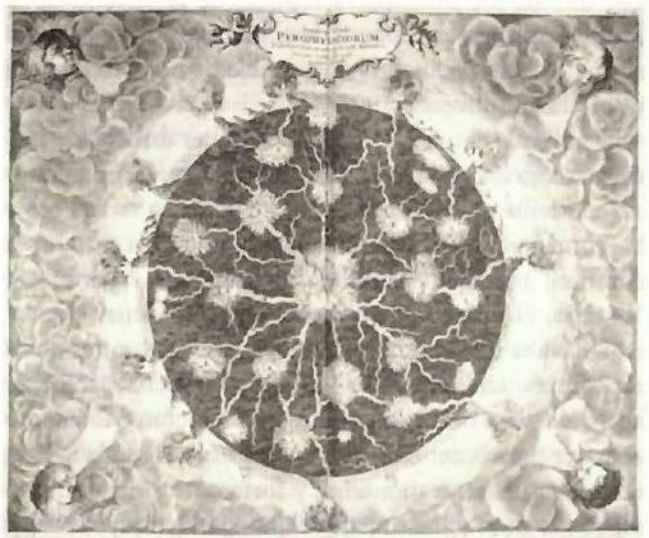


Figura 8. Representación idealizada del interior oculto de la Tierra y sus volcanes, tal como fue imaginado por Athanasius Kircher, *Mundus subterraneus* (Ámsterdam, 1665).

no), y otros para el paso del agua, en muchos casos de un mar a otro. El flujo de grandes cantidades de agua por estos pasajes generaba las corrientes y turbulencias oceánicas. Con los datos reunidos a partir de múltiples fuentes –sobre todo de los informes enviados por los misioneros jesuitas–, compiló su enciclopédico *El mundo subterráneo* (1665), que contenía, entre muchas otras cosas, mapas del mundo con las indicaciones de las corrientes oceánicas, los volcanes y la posible ubicación de los pasajes submarinos.

En contraste con Kircher, dedicado a la observación de los fenómenos más espectaculares de la Tierra, William Gilbert (1544-1603) trató de desvelar otro rasgo invisible de nuestro planeta, pero realizando tranquilamente experimentos en su casa. Gilbert, médico de la reina Isabel I, estudió ese enigmático objeto que es el imán. En su libro *Sobre el imán* (1600) estudió sus propiedades y describió los experimentos hechos con ellos, distinguiendo entre la atracción magnética y la propiedad que adquiere temporalmente el ámbar de atraer la paja cuando es frotado. (Para definir este último fenómeno acuñó el término «eléctrico», del griego *elektron,* que significa 'ámbar').

Algunos de sus experimentos estaban inspirados en los realizados por Pierre de Maricourt entre 1260 y 1269, pero Gilbert orientó sus estudios en otra dirección, hacia un nuevo objetivo. De Maricourt había utilizado imanes esféricos, o piedras imán (trozos de magnetita, un mineral que posee propiedades magnéticas), y descubrió que los imanes tienen polos, a los que dio el nombre de «Norte» y «Sur». Gilbert, utilizando también imanes esféricos, observó que una aguja de hierro colocada enci-

ma de ellos reproducía exactamente el comportamiento de las agujas de compás en la Tierra. Así pues, concluyó que nuestro planeta es un imán gigantesco, con sus correspondientes polos magnéticos que atraen la aguja del compás igual que una piedra imán. (Hasta entonces se pensaba que las brújulas apuntaban al Polo Norte «celeste», no a un polo terrestre.) En resumen, Gilbert utilizó su imán esférico como «modelo» de la Tierra: razonando por analogía, extrapoló a la Tierra lo que observó al experimentar con el imán.

El objetivo de Gilbert era consolidar el copernicanismo, que había sembrado confusión en lo tocante a los conceptos de «lugar natural» y «movimiento natural». Una Tierra en movimiento, girando vertiginosamente alrededor de su eje y orbitando muy lejos por encima del centro del universo, planteaba serios problemas físicos. ¿Por qué razón caían los objetos hacia una Tierra no situada en el centro? ¿Qué hacía que la Tierra girase? Los partidarios de la teoría copernicana tenían que encontrar una nueva física que pusiera orden en este caos. Tras afirmar que la Tierra tiene polos magnéticos, Gilbert propuso que esos polos definen un eje «físico» real; y apoyándose en el principio de que todo en la naturaleza tiene un propósito, afirmó que el de ese eje era permitir la rotación de la Tierra. Además, dijo, la virtud magnética de la Tierra la dotaba de una fuerza motriz intrínseca, igual a la que permite a los imanes hacer que los objetos de hierro se muevan. El «alma magnética» de la Tierra, como la llamó Gilbert, no sólo hace que las brújulas se orienten hacia el Norte, sino también que el planeta gire alrededor de su eje. Sobre esta base Gilbert formuló una

«filosofía magnética» en la que las virtudes magnéticas permean y gobiernan el universo. Basándose en el principio de que las cosas afines se atraen –la «simpatía» de la magia natural–, la filosofía magnética intentó resolver la disrupción del «lugar natural», sugiriendo que los trozos de Tierra son atraídos naturalmente por la Tierra y los trozos de Luna, por la Luna. Así, los objetos terrestres caerían hacia la Tierra, fuese cual fuese el lugar de la Tierra en el cosmos. En el universo de Gilbert, las fuerzas magnéticas mantienen el orden en ambos mundos, el sublunar y el supralunar. Su visión influyó profundamente en Kepler, Newton y otros.

El movimiento sobre la Tierra

Mientras la filosofía magnética intentaba explicar «por qué» caen los cuerpos, Galileo se esforzaba por describir matemáticamente «cómo» caen, y con ese fin, para estudiar el movimiento de los cuerpos en la Tierra, construyó planos inclinados, péndulos y otros artefactos. Su obra *Dos nuevas ciencias* (1638), escrita durante su arresto domiciliario, fue la culminación del estudio del movimiento emprendido por él en la última década del siglo anterior. Descubrió, en contra de lo sostenido por Aristóteles, que todos los cuerpos caen a la misma velocidad, independientemente de su peso. Con elegante lógica razonó que si una bola rodando hacia abajo por un plano inclinado va cada vez más deprisa y otra rodando hacia arriba por el mismo plano se mueve cada vez más despacio, entonces una tercera que ruede por una superficie hori-

zontal –ni hacia arriba ni hacia abajo– se movería con velocidad constante. Dado que sobre la Tierra esa superficie «horizontal» sería en realidad la superficie curva del globo, una bola que rodara por encima de ella (suponiéndola perfectamente pulida) seguiría dando vueltas sin fin alrededor del planeta. Con este «experimento mental», Galileo enunció un principio de inercia (que los cuerpos en movimiento siguen moviéndose a menos que actúe sobre ellos un agente exterior), y además bajó a la Tierra el eterno movimiento circular de los cielos, borrando un poco más la distinción entre el reino sublunar y el supralunar.

Desde el punto de vista metodológico es igual de importante lo que Galileo decidió ignorar que aquello en lo que fijó su atención. A la hora de describir el movimiento, no se preocupó nunca de concretar «qué» era lo que se movía, si una bola, un yunque o una vaca. Es decir, ignoró las «cualidades» en las que hacía hincapié la física aristotélica. Galileo se centró en cambio en las «cantidades», es decir, en las propiedades que se podían abstraer matemáticamente. Al prescindir de las características de forma, color y composición de los objetos, Galileo consiguió dar descripciones matemáticas idealizadas de su comportamiento. Una bola de madera de roble, marrón y fría, no cae de manera diferente que un cubo de estaño blanco y caliente; Galileo reduce ambos objetos a entidades abstractas y descontextualizadas a las que se puede aplicar un tratamiento matemático. Entre 1300 y 1309 hubo ya un grupo conocido como los *Calculatores* de Oxford (o del Merton College) que empezó a aplicar las matemáticas al estudio del movimiento; de hecho, en

Dos nuevas ciencias Galileo comienza su exposición de la cinemática con un teorema que fue enunciado por dicho grupo.

Galileo, sin embargo, fue mucho más lejos, al unir estrechamente la abstracción matemática a la observación experimental. En los numerosos experimentos que realizó fue tamizando y separando del comportamiento matemático ideal (que sólo se puede experimentar mentalmente) determinadas «imperfecciones», como la resistencia del aire y el rozamiento. Platón, que defendía la idea de un mundo que no sigue sino de manera imperfecta las eternas pautas matemáticas de acuerdo con las cuales fue diseñado, podría haber estado de acuerdo con algunos aspectos de la visión de Galileo (Aristóteles, sin embargo, habría discrepado). Aludiendo a la imagen cristiana del «Libro de la Naturaleza», Galileo escribió:

> Este gran libro, me refiero al universo [...] está escrito en el lenguaje de las matemáticas, y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas sin las cuales es humanamente imposible comprender una sola palabra.

La técnica utilizada por Galileo de reducir el mundo físico a abstracciones matemáticas y, en último término, a fórmulas y algoritmos desempeñó un papel fundamental en la creación de una nueva física y constituye un rasgo distintivo de la Revolución Científica.

Una cosa significativa es que Galileo se contentara con «describir» matemáticamente el movimiento, sin preocuparse de su «causa». Este aspecto de su obra se aparta radicalmente de la ciencia aristotélica, donde el verda-

dero conocimiento es el conocimiento de las causas. El planteamiento de Galileo se parece al del ingeniero, más interesado en describir «qué» hace y «cómo» se utiliza un objeto que en averiguar el «porqué». Galileo se inspira aquí en el contexto imperante en su tierra natal, el norte de Italia, donde la ingeniería y la figura del ingeniero erudito habían alcanzado gran notoriedad (véase el capítulo 6).

En *Dos nuevas ciencias* queda bien patente la importancia de la ingeniería práctica: los interlocutores se encuentran en medio de unas obras de construcción en los astilleros de Venecia y discuten sobre la resistencia de las vigas y la resistencia a la tracción, sobre aumentos y reducciones de escala, es decir, sobre cuestiones de gran importancia para ingenieros y arquitectos. En su juventud, Galileo, siendo profesor en Padua, redondeaba su exiguo sueldo universitario con clases particulares de mecánica y fortificación. Su posterior estudio de la balística (que demuestra que los proyectiles siguen una trayectoria parabólica y que ahora se suele recordar como una contribución a la física del movimiento) era continuación de otros anteriores realizados por Niccolò Tartaglia (1499-1557), ingeniero erudito que escribió en 1537 una obra titulada *Nueva ciencia* sobre la aplicación de la matemática al movimiento, y en especial al de los proyectiles de cañón, cuestión de importancia práctica capital para los estados italianos, permanentemente en pie de guerra. Es fácil convertir el desarrollo de la ciencia en algo excesivamente abstracto y cerebral y olvidar que en muchos casos lo que le impulsa son problemas apremiantes de índole eminentemente práctica.

El agua y el aire

El estudio del agua con fines de ingeniería condujo a una serie de importantes descubrimientos realizados por discípulos de Galileo. El monje benedictino Benedetto Castelli (1577-1643), alumno y sucesor suyo en la cátedra de Matemática de Pisa, se dedicó al estudio de la hidráulica y la dinámica de fluidos, cuestiones de importancia práctica en una época en que Italia estaba inundada de grandes proyectos hidráulicos: canales, fuentes, acueductos y sistemas de riego y alcantarillado. La necesidad de elevar el agua a grandes alturas (desde pozos profundos o en las minas, por ejemplo) llevó al descubrimiento de que un sifón no podía elevar el agua a una altura superior a 10 metros más o menos. Gasparo Berti (*c.* 1600-1643), colega de Castelli en la Universidad de Roma, realizó a principios de la década de 1640 un experimento para estudiar este problema.

Ayudado por colaboradores suyos, entre ellos Athanasius Kircher, fabricó un tubo de unos 11 metros de largo que se podía cerrar por medio de válvulas por ambos extremos, y lo dispuso verticalmente de manera que el extremo inferior quedaba sumergido en una cuba de agua (Figura 9, izquierda). A continuación cerró la válvula inferior y llenó el tubo de agua. Luego cerró la válvula superior y abrió la inferior. El líquido empezó enseguida a salir por el extremo inferior, pero luego dejó de fluir en el momento en que la altura de la columna de agua que quedaba en el tubo se redujo a unos 10 metros. ¿Qué era lo que mantenía suspendida esa columna de agua justamente a unos 10 metros?

Evangelista Torricelli (1608-1647), alumno de Castelli que más tarde ocuparía el puesto de Galileo (matemático y filósofo) en la corte de Fernando II de Médici, diseñó un sencillo instrumento, análogo al tubo de Berti, pero más fácil de manejar. Tomó un tubo de vidrio de algo menos de 1 metro de longitud, lo selló por un extremo y lo llenó de mercurio. Al invertir el tubo e introducir el extremo abierto en una cuba llena de ese mismo líquido (Figura 9, derecha), empezó a salir mercurio del tubo; pero al cabo de un momento dejó de hacerlo, precisamente cuando la columna de líquido que quedaba en el tubo era aproximadamente de 760 milímetros, un catorceavo de la altura a la que se había detenido el agua en el tubo de Berti. Casualmente, el mercurio es unas 14 veces más denso que el agua, lo que significaba que la altura de cualquier líquido suspendido en un tubo era inversamente proporcional a la densidad del líquido.

Apoyándose en ideas sobre el equilibrio de fluidos obtenidas en anteriores estudios hidráulicos, Torricelli explicó estos resultados diciendo que el peso del líquido que queda en el tubo se equilibra con el peso del aire exterior que presiona hacia abajo sobre el líquido de la cuba. La idea de que el aire tenía peso estaba en conflicto con el sistema aristotélico, que afirmaba que el aire no pesa. «Vivimos sumergidos en el fondo de un vasto océano de aire elemental», dijo Torricelli, y afirmó que su instrumento era capaz de medir variaciones del peso del aire, lo que llevó a dar un nuevo nombre a su instrumento: el «barómetro», literalmente 'medidor de peso'.

Algunos de los experimentos más célebres del siglo XVII tuvieron como objetivo explorar ideas sugeridas por el

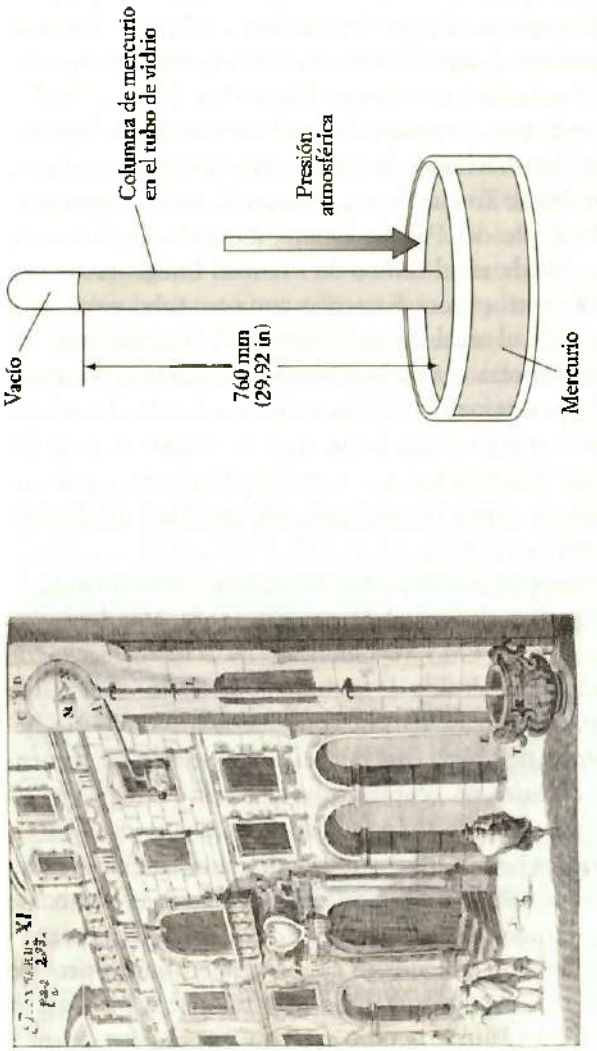


Figura 9. *(Izqda.)* Barómetro de agua de Gasparo Berti (en Gaspar Schott, *Technica curiosa*, Nuremberg, 1664). *(Dcha.)* Esquema simplificado del barómetro de mercurio de Evangelista Torricelli.

tubo de Torricelli. Uno muy elegante, diseñado para demostrar que es el peso de la atmósfera lo que mantiene suspendido el líquido dentro del tubo, fue el propuesto por el matemático y teólogo Blaise Pascal (1632-1662) y realizado por su cuñado Florin Périer en 1647. Siguiendo las instrucciones de Pascal, Périer dispuso primero un «tubo de Torricelli» en el jardín de un monasterio situado al pie del Puy de Dôme, montaña cercana a su casa, situada en el centro de Francia. Luego subió más de 900 metros montaña arriba con otro tubo y comprobó que allí el nivel del mercurio era 7,6 cm más bajo. Al descender otra vez de la montaña, el mercurio recuperó su altura original. A alturas mayores, donde el «océano de aire» que presiona hacia abajo es menor, el peso del aire que descansa sobre el mercurio disminuye y por tanto sólo es capaz de sostener una cantidad inferior de mercurio en el tubo.

Un experimento espectacular realizado ante un nutrido público fue el de la famosa «esfera de Magdeburgo» construida por Otto von Guericke (1602-1686), filósofo de la naturaleza, alcalde de la ciudad, *showman* y fabricante de artilugios maravillosos. Von Guericke fabricó dos hemisferios de cobre con bordes acabados de tal manera que permitían un acoplamiento perfecto entre ellos. Los juntó para formar una esfera, abrió la válvula instalada en uno de los hemisferios y, utilizando un instrumento de su propia invención, inspirado en el modelo de la bomba de agua, extrajo el aire del interior de la esfera. Una vez cerrada la válvula, demostró que ni siquiera varios tiros de caballos tenían fuerza suficiente para separar los dos hemisferios, unidos como estaban por el peso del aire

(Figura 10). Al abrir la válvula y dejar entrar el aire, los dos hemisferios se separaban sin esfuerzo alguno.

Pero ¿qué había en el espacio por encima del mercurio o dentro de la esfera de Von Guericke? Muchos experimentadores opinaban que en ese espacio no había nada, que estaba literalmente «vacío»: un asunto altamente controvertido en el siglo XVII. Los aristotélicos y otros pensadores sostenían que el vacío era imposible, tal como resume su frase «la naturaleza aborrece el vacío». Consideraban que el mundo estaba completamente lleno de materia, el *plenum,* y algunos fenómenos naturales parecían confirmarlo. Sostenían que en el espacio por encima del mercurio había aire o alguna sustancia aérea

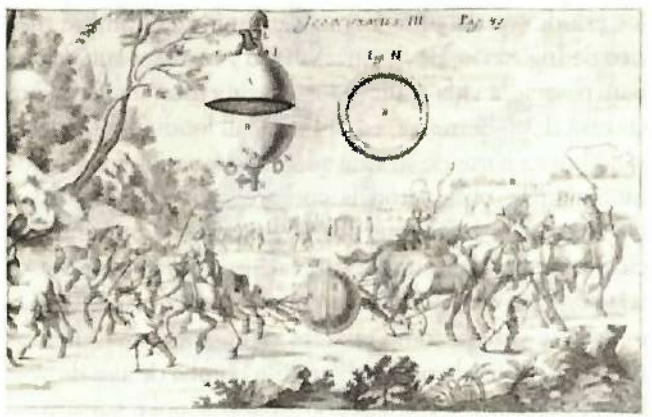


Figura 10. Demostración espectacular, realizada por Otto von Guericke, de cómo varios tiros de caballos no son capaces de separar las dos mitades de una esfera hueca de la que se ha extraído el aire: una prueba de la fuerza de la presión atmosférica. De Gaspar Schott, *Technica curiosa,* Núremberg, 1664.

más fina extraída del mercurio. Los experimentos llevados a cabo para aclarar este punto no lograron sin embargo zanjar del todo la disputa entre «vacuistas» y «plenistas». El sonido no se transmitía por el espacio vacío, lo que indicaba que el aire que se había eliminado era necesario para su propagación. Pero la luz sí se propagaba en ausencia de aire. ¿No necesitaba la luz, igual que el sonido, de algún medio para transmitirla? Lo que de manera rutinaria se consideran hoy experimentos «seminales» en la historia de la ciencia raramente fueron tan convincentes para la gente de la época como nos lo parecen a nosotros hoy día en retrospectiva. Experimentar, y sobre todo interpretar los resultados, siempre fue y siempre será un asunto complicado, delicado y controvertido.

Robert Boyle (1627-1691) se unió enseguida a las filas de los estudiosos del aire. Como benjamín del hombre más rico de Inglaterra, Boyle tuvo tiempo y recursos suficientes para pasarse la vida realizando experimentos, mayormente en casa de su hermana, en la Pall Mall londinense, donde vivió buena parte de su vida adulta. Él y varios contemporáneos suyos observaron la compresibilidad del aire, en concreto el hecho de que cuanto mayor es la presión ejercida sobre una muestra de aire, menor es su volumen; esta relación recibió más tarde el nombre de «ley de Boyle» y todavía se enseña como tal a los estudiantes de Química. En 1658, habiendo oído hablar de la bomba de aire de Von Guericke, Boyle y el ingenioso Robert Hooke construyeron una versión mejorada que era capaz de evacuar una gran esfera de vidrio. Dentro de la esfera se podían introducir y sellar diversos objetos, para luego observarlos a medida que se extraía el aire de la esfera (Figura 11).

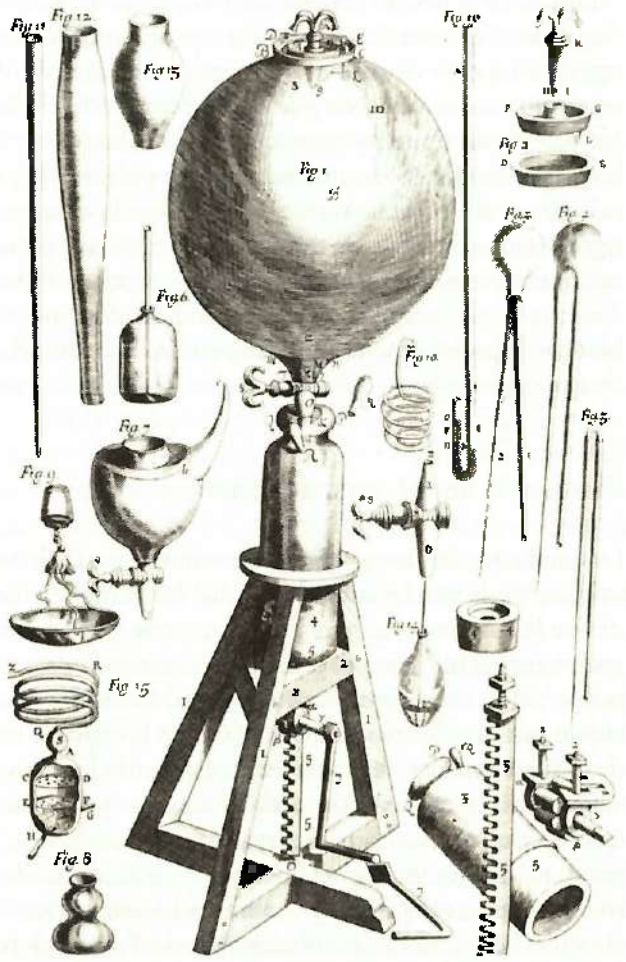


Figura 11. Bomba de aire de Robert Boyle y Robert Hooke. De: Robert Boyle, *New Experiments Physico-Mechanical Touching the Spring of the Air*, Oxford, 1660.

Dentro de la bomba de aire selló Boyle un barómetro (fue probablemente él quien acuñó este término para designar el tubo de Torricelli) y observó cómo el nivel de mercurio bajaba a medida que se iba extrayendo el aire. La batería de experimentos que realizó dentro de la bomba es interminable: intentó prender pólvora, disparar una pistola, oír el tic-tac de un reloj y medir el tiempo que podían sobrevivir sin aire diversas criaturas –gatos, ratones, pájaros, ranas, abejas, orugas y muchas otras–. También experimentó con velas encendidas dentro de la bomba y observó que el fuego dependía de la cantidad de aire disponible.

El fuego: la herramienta del químico

La condición del fuego como elemento material había sido discutida mucho antes de la Edad Moderna. En medio de la controversia, había un grupo que utilizaba regularmente el fuego como principal herramienta para estudiar y dominar la materia y sus transformaciones: los alquimistas. La Revolución Científica fue la edad de oro de la alquimia. Hoy día se entiende a menudo la palabra «alquimia» como una búsqueda obstinada (y fútil) del método para fabricar oro, algo más o menos «mágico», y por tanto distinto de la química. Pero en la Edad Moderna las palabras «alquimia» y «química» hacían referencia al mismo conjunto de actividades. Algunos historiadores utilizan en inglés la grafía arcaica *chymistry* (en lugar de *chemistry* = 'química') para referirse a todo este conjunto indiferenciado de actividades entre la alquimia y la química. La fabricación de oro, o *crisopeya,* era una parte esencial de la química, pero no tenía nada de «mágica» (en el sentido actual); era simplemente una práctica basada en teorías diferentes de las nuestras. Se han conservado y han llegado hasta nuestros días cuadernos de notas en los que se registraron las operaciones efectuadas a diario por un alquimista, y en muchos casos dichos documentos revelan meticulosas metodologías de práctica experimental, interpretación textual, observación y formulación de teorías.

Además de la búsqueda del oro, la química también comprendía el estudio más general de la materia y la producción de artículos comerciales como fármacos, tintes, pigmentos, vidrio, sales, perfumes y aceites. Una característica central de esta disciplina, desde sus orígenes en el Egipto helenístico del siglo IV hasta la química de nuestros días, es la unión de dos cosas: la producción material, por un lado, y la especulación en materia de filosofía natural, por otro.

La búsqueda de un método para transmutar el plomo en oro no era confundir los deseos con la realidad. Se basaba en la teoría de que los metales son cuerpos compuestos producidos en el interior de la Tierra por combinación de dos ingredientes, el «Mercurio» y el «Azufre». Cuando los dos se combinan en la proporción y el grado de pureza correctos, forman oro. Si no hay suficiente Azufre, se obtiene plata. Demasiado Azufre (un principio seco e inflamable) produce hierro o cobre; el exceso de Azufre se puede demostrar por la inflamabilidad, dureza y dificultad de fusión de estos metales. El exceso de Mercurio (un principio fluido) da estaño o plomo, metales blandos y fácilmente

fundibles. Así pues, la transmutación era, en teoría, simple cuestión de ajustar estos dos componentes en la proporción en la que se encuentran en el oro. La observación de que los minerales de plata contienen algo de oro y los de plomo algo de plata sugería que la transmutación se producía de forma natural bajo tierra, al purificarse los metales de composición pobre o «madurar» en otros más estables y mejor fraguados. El desafío consistía en efectuar esta transformación de forma artificial y más rápida. Por tanto, los adeptos a la crisopeya andaban detrás de fabricar la, así llamada, «piedra filosofal», un agente material que produciría la transmutación. La idea era que, una vez preparada la piedra filosofal en el laboratorio, bastaba mezclarla con una pequeña cantidad de metal común fundido para convertirlo en oro en pocos minutos. Muchos textos afirmaban haberlo logrado, y los buscadores de la transmutación se esforzaban por replicarlo. La dificultad estribaba en el intencionado secretismo de esos escritos: los ingredientes, los procesos e incluso la teoría permanecían ocultos detrás de códigos, pseudónimos, metáforas y emblemas pictóricos, a menudo chocantes (Figura 12).

El secretismo de la alquimia provenía en parte de prácticas artesanales en las que era necesario preservar los derechos de propiedad como secretos comerciales. También se vio fomentado por las leyes medievales que prohibían la transmutación, por miedo a que provocara una depreciación de la moneda. Y no faltaban autores que lo justificaban con el argumento de que su conocimiento era peligroso en manos desconocidas, y que además se trataba de un conocimiento privilegiado que no convenía comunicar a quien no lo mereciera.

Figura 12. Alegoría alquímica de la purificación del oro y la plata, primer paso para fabricar la piedra filosofal. El rey representa el oro; la reina, la plata, y el viejo (Saturno), el plomo, en referencia al proceso de copelación, que utiliza plomo para purificar la plata. El lobo saltando por encima del crisol (una vasija para refinar metales) representa la estibina, un mineral capaz de reaccionar con la plata y el cobre –que generalmente forman aleación con el oro–, y separarlos de éste. De *Musaeum hermeticum*, Frankfurt, 1678.

El uso continuado hasta nuestros días de la palabra inglesa *chemist* ('químico') en el sentido de *pharmacist* ('farmacéutico') tiene su origen en la Edad Moderna, cuando la mayoría de los químicos dedicaban al menos parte de su tiempo a preparar medicamentos. La aplicación de la química a la medicina comenzó con el fraile franciscano provenzal Jean de Roquetaillade (en latín Johannes de Rupescissa y Juan de Rocatallada en español, 1310-*c.* 1362), quien recomendaba el uso de alcohol destilado del vino para preparar extractos medicinales.

El uso de la química en la preparación de sustancias medicinales se generalizó en el siglo siguiente, antes de llegar su más estentóreo defensor en la figura legendaria de Theophrastus von Hohenheim, conocido como Paracelso (1493-1541). Paracelso criticó la medicina tradicional basada en los autores griegos, romanos y árabes, y elaboró su propio sistema apoyándose en una serie de fuentes que iban desde la observación directa hasta las creencias populares germánicas. Defendió la química como medio para transformar prácticamente cualquier sustancia en un potente medicamento y mostró en cambio poco interés por la crisopeya. Su idea directriz era que las propiedades nocivas provenían de impurezas en sustancias por lo demás salubres, igual que el pecado y la muerte contaminaban un mundo que, como creación divina, era intrínsecamente bueno. Utilizando la destilación, la fermentación y otras operaciones de laboratorio, la química proporcionaba métodos para separar lo bueno de lo malo, la medicina del veneno. Paracelso también sostenía que todas las sustancias están compuestas de tres ingredientes primarios –Mercurio, Azufre y Sal–, una trinidad terrestre llamada los *tria prima,* reflejo de la Santísima Trinidad y de la naturaleza trina del hombre: cuerpo, alma y espíritu. El proceso que llamó *espagiria* tenía por objeto dividir una sustancia en sus *tria prima,* purificar cada uno de ellos y recombinarlos en una forma «exaltada» de la sustancia original, con mayor poder medicinal y desprovista de toxicidad.

Pero Paracelso fue más lejos: la química no era sólo una herramienta para preparar medicamentos, sino también la clave para entender el universo. Cuando a finales

del siglo XVI los discípulos de Paracelso sistematizaron sus a menudo caóticos escritos (dictados, según se rumoreaba, en estado de embriaguez), formularon una visión química del mundo que concebía prácticamente todo como de naturaleza fundamentalmente química: el ciclo de la lluvia a través del mar, el aire y la tierra era una gran destilación; la formación de los minerales en el subsuelo, el crecimiento de las plantas, la generación de las formas de vida, así como las funciones corporales de la digestión, la nutrición, la respiración y la excreción, todo ello era considerado inherentemente químico. Dios mismo dejó de ser «el Geómetra» de los platónicos para convertirse en «el Maestro Químico». La Creación por Él de un mundo ordenado a partir del caos primordial era similar a la extracción, purificación y elaboración de materiales comunes en productos alquímicos que realizaba el alquimista; y su Juicio Final por medio del fuego era análogo a la utilización de éste por el químico para purgar de impurezas los metales preciosos. En esta visión del mundo, era químico hasta el destino último del hombre: después de la muerte, el alma y el espíritu humanos se separan del cuerpo; el cuerpo material se corrompe en la tumba hasta que, el día de la Resurrección Final, se renueva y se transforma; Dios el Químico vuelve entonces a infundir el alma y el espíritu purificados para producir un ser humano glorificado y eterno, lo mismo que en la espagiria los *tria prima* son separados de una sustancia y luego purificados y recombinados en un producto resintetizado y «glorificado».

El paracelsismo atrajo a muchos prosélitos. Cuando Tycho Brahe avistó por primera vez su nova en 1572, aca-

baba de salir del laboratorio donde estaba preparando remedios siguiendo los criterios de Paracelso. Más tarde construyó en su castillo-observatorio de Uraniborg un laboratorio con el fin de estudiar lo que él llamó la «astronomía terrestre», es decir, la química («lo que está arriba es semejante a lo que está abajo»).

Debido al estilo contestatario de Paracelso –a menudo expresado en diatribas contra el saber clásico, las universidades y los médicos con licencia–, sus ideas provocaron acalorados debates y encontraron a menudo al grueso de sus seguidores entre gente situada fuera de los círculos establecidos. De hecho, la química en su conjunto permaneció la mayor parte de su existencia al margen de los círculos tradicionales del saber y arrastró una dudosa reputación. Mientras que la física y la astronomía fueron una parte obligatoria de los estudios universitarios desde la Edad Media, la química no tuvo una base académica hasta el siglo XVIII. Una de las razones es que no podía presumir de raíces clásicas; ni Aristóteles ni ninguna otra autoridad de la Antigüedad escribieron sobre química, a diferencia de lo que ocurrió con la astronomía, la física, la medicina y las ciencias de la vida. Su estrecha relación con el comercio y la producción artesanal, y su carácter práctico (a menudo desordenado, laborioso y maloliente), la inhabilitaban también para figurar entre las disciplinas respetables.

No obstante, la importancia concedida por la química a la experimentación práctica le permitió por otro lado amasar un enorme arsenal de materiales, de conocimientos sobre sus propiedades y de destrezas para su manejo. La importancia comercial de estos conocimientos au-

mentó considerablemente en el siglo XVII, y hubo muchos químicos que emprendieron la ruta empresarial, unas veces contratados por príncipes u otros patronos en operaciones mineras para mejorar los rendimientos o para buscar la transmutación, y otras veces trabajando por cuenta propia para lanzar nuevos artículos al mercado. Por desgracia, la capacidad de la química para imitar piedras preciosas y metales, y la pretensión de la crisopeya de fabricar oro abrían las puertas al fraude, lo que llevó a asociar generalmente la química con prácticas sin escrúpulos. Dante, a finales de la Edad Media, colocó ya a los químicos –«los monos de la naturaleza»– en el octavo círculo del Infierno, junto a los falsificadores y estafadores; y más tarde, en el siglo XVII, hubo dramaturgos –como Ben Jonson en su *Alchemist* (1610)– que utilizaron con fines cómicos las figuras del falso químico y de sus codiciosos clientes.

En el siglo XVII, la mayor parte de la formación química tenía lugar dentro de contextos médicos. En Alemania, Johannes Hartmann (1568-1631) se convirtió en 1609 en el primer profesor de *iatroquímica* ('medicina química'). Su nombramiento se hizo en la Universidad de Marburg, una institución calvinista recién fundada y por lo tanto con más capacidad de innovación; su fundador fue Moritz de Hesse-Kassel, un príncipe en cuya corte encontraban acogida los adeptos a la crisopeya y al paracelsismo, además de otros químicos.

En Francia, la enseñanza reglada de la química se inició en el Jardin du Roi de París, un jardín botánico creado para la difusión y el estudio de las plantas medicinales. Varios profesores impartían allí cursos prácticos

basados en demostraciones de laboratorio abiertas al público. Al lado de ellos había también docentes privados, a menudo farmacéuticos, que ofrecían cursos de química. Uno de ellos fue Nicolas Lemery, que impartía las clases en su casa de París, y cuyo libro de texto *Cours de chymie* (1675) se convirtió en un éxito de ventas. De hecho, las docenas de libros de texto de química publicados en Francia y Alemania establecieron una tradición didáctica que sirvió para compensar la ausencia de esta disciplina en los planes de estudios universitarios.

El sabor práctico de la química no significa que ésta no contribuyera significativamente a las teorías de la filosofía natural; todo lo contrario. Uno de los hitos más importantes del siglo XVII, el resurgimiento del atomismo, se basó en parte en ideas y observaciones químicas. El alquimista latino conocido con el nombre de Geber utilizó ya en el siglo XIII una teoría cuasi corpuscular de la materia para explicar las propiedades químicas. Explicó, por ejemplo, la densidad del oro y su resistencia a la corrosión con la teoría de que sus «ínfimas partes» están empaquetadas muy juntas sin dejar resquicio entre ellas. El hierro estaba empaquetado de manera más suelta, dejando espacios que hacían que el metal fuese más ligero y que ofreciese huecos para que el fuego y las sustancias corrosivas penetraran en él y lo desintegraran en herrumbre. Otros químicos posteriores siguieron desarrollando esta idea de la existencia de partículas diminutas y estables para explicar sus observaciones. Tales teorías fueron rechazadas a menudo por los aristotélicos ortodoxos, que sostenían que las sustancias pierden su identidad al combinarse.

Pero quienes se dedicaban a la práctica de la química sabían que en muchos casos era posible recuperar los compuestos iniciales al final de una secuencia de transformaciones. Por ejemplo, sabían que la plata tratada con ácido «desaparece» en un líquido claro y homogéneo que pasa libremente a través de papel de filtro. Tratado luego con sal, el líquido precipita un polvo blanco pesado que, mezclado con carbón y calentado al rojo, devuelve la plata en su peso original. Este conocido experimento indicaba que la plata mantenía todo el tiempo su identidad, a pesar de las apariencias y de haber sido descompuesta en pequeñas partículas invisibles capaces de pasar por los poros del papel. Las operaciones químicas proporcionaban la mejor prueba de la existencia de esos «átomos».

Atomismo y mecanicismo

Entre la tradición química de las concepciones corpusculares de la materia y el resurgimiento del antiguo atomismo se produjo una especie de polinización cruzada. El antiguo atomismo griego nació con Leucipo y Demócrito en el siglo V a. C. El mundo concebido por ellos era un mundo material compuesto por átomos indivisibles que se mueven por el espacio vacío y que al acercarse y separarse en combinaciones siempre distintas dan lugar a los cambios observados. Sus ideas se extinguieron en gran parte en la Antigüedad. Aristóteles las refutó a fondo, y aunque Epicuro (341-270 a. C.) hizo del atomismo el fundamento de su filosofía moral, cuando cayó el epicureísmo en desgracia por su tendencia al ateísmo y al

hedonismo (ni una cosa ni otra pretendida por Epicuro), el atomismo sucumbió con él. Su resurgimiento no se produjo hasta el redescubrimiento en 1417 del poema de Lucrecio *Sobre la naturaleza de las cosas* (una obra de divulgación romana sobre la filosofía de Epicuro), aunque el acento que pone Lucrecio en la relación entre el atomismo y el ateísmo dificultó al principio su aceptación.

Ironías de la vida, la rehabilitación del atomismo epicúreo se debió a un sacerdote, Pierre Gassendi (1592-1655). Gassendi negaba que los átomos fuesen eternos (sólo Dios lo era) y que se movieran por sí solos (Dios los puso en movimiento); defendió la inmaterialidad y la inmortalidad del alma humana; y construyó un sistema general del mundo utilizando partículas invisibles y sus movimientos como principio explicativo fundamental. Su sistema y otros parecidos recibieron el nombre de «filosofía mecanicista».

La filosofía mecanicista sostiene que todas las cualidades y fenómenos sensibles resultan del tamaño, la forma y el movimiento de ínfimos trozos de materia invisibles llamados «átomos», «corpúsculos» o simplemente «partículas». Los filósofos mecanicistas estrictos sostenían la existencia de una única clase de «sustancia» de la que todo está hecho y afirmaban que son las diferentes formas, tamaños y movimientos de las diminutas partículas de este único elemento lo que da lugar a la variedad de sustancias y propiedades que percibimos.

Coherente con su indiferencia hacia las cualidades y su preferencia por las cantidades, Galileo argumentó que la mayoría de las cualidades, como lo caliente y lo frío, los colores, los olores y los gustos, en realidad no existen,

sino que son el resultado de cómo las diminutas partículas afectan a nuestros órganos sensoriales. Para Galileo y para los filósofos mecanicistas que vinieron después, las únicas cualidades reales –las cualidades «primarias»– eran el tamaño, la forma y la movilidad de las partículas. Todas las demás cualidades eran «secundarias», es decir, existían sólo en el organismo sentiente, no en el objeto sentido. Para el mecanicista, el vinagre sólo sabe agrio porque sus partículas afiladas y puntiagudas pinchan la lengua. Sin la lengua, «agrio» no tiene ningún sentido. Una rosa parece roja sólo por la manera en que sus partículas modifican la luz reflejada y por la forma en que esa luz modificada actúa sobre nuestros ojos. El aroma agradable de la rosa resulta de un efluvio de partículas que, emitidas por la flor, llegan por el aire hasta la nariz, donde inciden en el órgano olfativo y producen movimientos que, transmitidos al cerebro, se convierten en una sensación de olor. Este punto de vista se opone radicalmente a la forma aristotélica de ver el mundo, en la que las cualidades sensibles tienen existencia real en los objetos y desempeñan un papel crucial en la explicación de la naturaleza y los efectos de dichos objetos.

Este sistema era mecanicista en dos sentidos. En primer lugar, los efectos eran causados solamente por contacto mecánico, caso del martillo contra la piedra o de las bolas de billar al chocar entre sí. No había sitio para la acción a distancia, ni para las fuerzas de simpatía. En segundo lugar, el mundo y los objetos que se encuentran en él (incluidas las plantas y los animales, en la influyente filosofía mecanicista de Descartes) se concebían como máquinas.

Los filósofos mecanicistas equiparaban el mundo a un complejo mecanismo de relojería, uno de esos enormes relojes mecánicos de la época en los que un juego oculto de engranajes, pesas, poleas y palancas hace que giren las manecillas, suenen las campanas, dancen y hagan reverencias los muñecos y canten los gallos mecánicos, todo ello con perfecto orden y regularidad. La expresión «máquina del mundo» (*machina mundi*) se remonta a Lucrecio y se utilizó en la Edad Media para expresar la compleja regularidad del universo. Pero para los autores de aquella época, *machina* significaba algo parecido a 'estructura' o 'edificio' y expresaba la interdependencia de las distintas partes de la Creación. Los filósofos mecanicistas, por el contrario, daban a esta imagen el sentido de un autómata, es decir, un ser artificial pero que imitaba mecánicamente las acciones de un ser vivo.

Esta visión mecanicista era reflejo del mayor poder tecnológico de la época e hizo que las concepciones del mundo se alejaran de los modelos biológicos vivos y derivaran hacia maquinarias inanimadas. Este punto de vista llevó incluso a una nueva conceptualización del propio Dios, concebido cada vez más, no como geómetra, químico o arquitecto, sino como mecánico o relojero, como el técnico que diseñó y montó la máquina del mundo. Esta imagen, que llegó a estar particularmente arraigada en la Inglaterra de finales del siglo XVII, constituye el trasfondo último de los actuales debates sobre el «diseño inteligente». En la época moderna, cuando la teología y la filosofía natural se fundían una con otra sin solución de continuidad, los conceptos científicos y los religiosos surgían y se desarrollaban de la mano, influyéndose mutuamente y reaccionando a sus influencias recíprocas.

Al intentar aplicar los principios de la filosofía mecanicista a todos los fenómenos naturales, uno de los problemas era explicar las «cualidades ocultas», las simpatías y las acciones a distancia que habían frustrado a los aristotélicos y que formaban la base de la magia natural. La solución preferida por los mecanicistas era apelar a efluvios materiales invisibles, «vapores» de partículas que llevaban los efectos de un cuerpo a otro. Por ejemplo, el fuego podía calentar un objeto a distancia porque la llama emanaba partículas ígneas en rápido movimiento que chocaban contra el objeto. Otras explicaciones requerían soluciones más ingeniosas. Descartes explicaba la atracción magnética diciendo que los imanes emiten un flujo constante de partículas en forma de tornillo. El hierro, decía Descartes, contiene poros en forma de rosca hembra; las partículas emitidas por el imán entran en los poros del hierro y se enroscan, «atornillando» el hierro al imán. Incluso el acto reflejo de apartar la vista de una escena espeluznante se explicaba mediante un efluvio de partículas afiladas que hieren los ojos.

Robert Boyle no sólo fue quien dio a la filosofía mecanicista su nombre, sino también quien la asoció a la química, reconociendo la especial capacidad de esta última para revelar el funcionamiento del mundo. Boyle cultivó los cuatro aspectos más importantes de la química del siglo XVII: la crisopeya, la medicina, el comercio y la filosofía natural. Buscó con ahínco el secreto de la fabricación de la piedra filosofal e intentó contactar con «adeptos clandestinos» que le pudiesen ayudar. Afirmaba haber presenciado él mismo el uso de la piedra y haber verificado el oro producido a partir de plomo, y fue él quien

logró que se aboliera (en 1689) la ley inglesa que prohibía la transmutación. Elaboró nuevos medicamentos químicos, en especial medicinas menos caras para aliviar a los pobres (en aquel tiempo, la atención médica y los productos farmacéuticos eran, igual que ahora, demasiado caros).

Boyle abogó asimismo por aplicar la química a fines útiles, a la mejora de los oficios, del comercio y de las manufacturas. Pero quizás lo más notable de todo es que defendió la química como la mejor manera de estudiar el mundo y luchó por mejorar su reputación. Boyle decía que se había dedicado a la química (considerada por sus amigos como «un estudio vacío y engañoso») porque proporcionaba la mejor prueba de los sistemas corpusculares propuestos por los filósofos mecanicistas. Como ejemplo de ello mostró experimentalmente cómo el salitre podía producir tanto una sal alcalina fija como un líquido ácido volátil, y cómo la combinación de ambos regeneraba el salitre. De ahí cabía concluir que las sustancias compuestas se podían separar en sus partes, que a su vez se podían volver a reunir para formar de nuevo la sustancia inicial, lo mismo que las piezas de una máquina. Aunque Boyle rechazó gran parte del paracelsismo, tales «reintegraciones» (como él las denominó) guardan un parecido sorprendente con la espagiria, y de hecho las ideas de Boyle tienen su fundamento en una larga tradición anterior de crisopeya y iatroquímica.

La filosofía mecanicista se disipó a finales del siglo XVII. El propio Boyle perdió entusiasmo al darse cuenta de que pretender extenderla demasiado podía conducir al determinismo, al materialismo y al ateísmo. Si el mundo

no fuera nada más que un conjunto de partículas que chocan, no quedaría espacio alguno para el libre albedrío o la divina providencia. Si Dios es un relojero, ¿puso el mundo en marcha y luego lo abandonó, o lo tiene que reajustar cada cierto tiempo como si fuera poco menos que un maestro mecánico? A los químicos no les resultaba convincente una filosofía mecanicista estricta: la gran variedad de propiedades que observaban todos los días no parecía poderse explicar con la simple noción de un único tipo de materia con partículas de diferentes formas. Los procesos de la vida eran también demasiado complejos para que, más allá de cierto punto, los pudiera explicar la simple mecánica. Por último, las fuerzas de atracción de Newton, una especie de acción a distancia, tampoco se podían reducir a una explicación mecánica. El triunfo del newtonismo significó de hecho la derrota del mecanicismo estricto.

La evolución del aristotelismo

Aristóteles y el aristotelismo se han llevado unos cuantos golpes a lo largo de este capítulo. Y en efecto, una de las interpretaciones de la Revolución Científica es que fue, en resumidas cuentas, el rechazo de un aristotelismo escolástico moribundo. Esta interpretación no tiene sin embargo en cuenta la flexibilidad y la continua evolución de la escolástica. Mientras los defensores de las «nuevas» filosofías del siglo XVII caricaturizaban y criticaban invariablemente el aristotelismo con una dura retórica, otros filósofos de la naturaleza se mantuvieron

dentro del marco «aristotélico» y continuaron actualizando el sistema y trabajando de forma productiva. Ser «aristotélico» o «escolástico» no significó, ni en la Baja Edad Media ni en la Edad Moderna, aferrarse obstinadamente a todo lo propuesto por el propio Aristóteles. Incluso Teofrasto, su alumno más aventajado, prosiguió la tradición aristotélica pero discrepando del maestro en varios puntos. Los filósofos naturales de la Edad Media citaban invariablemente a Aristóteles, pero a menudo como simple punto de partida para sus propias exploraciones, que en muchos casos acababan en conclusiones contrarias a las de aquél. Al llegar el Renacimiento coexistían numerosos aristotelismos diferentes e incluso opuestos.

El enfoque experimental y matemático de la filosofía natural no era una parte central de la obra de Aristóteles, pero lo fue siendo cada vez más para los aristotélicos del siglo XVII. Los jesuitas constituyen el ejemplo más claro de compromiso explícito con una filosofía natural aristotélica, y sin embargo muchos de ellos, como Riccioli y Grimaldi, hicieron gran número de experimentos sobre la cinemática de Galileo e incorporaron ideas y resultados claramente contrarios a Aristóteles. Otro ejemplo es el de Niccolò Cabeo (1586-1650), quien, aun rechazando la interpretación procopernicana que hizo Gilbert de sus experimentos magnéticos, llevó a cabo una cantidad parecida de experimentos con los imanes. Hacia finales de siglo, los jesuitas habían adoptado muchas de las ideas corpusculares y mecanicistas expuestas por Gassendi y Descartes, pero siempre dentro de un marco «aristotélico». Para sus defensores, la escolástica siguió siendo un método útil y flexible de proceder en el estu-

dio de la naturaleza, y no necesariamente un corpus de conclusiones. Y aunque siguieron mostrando una actitud conservadora hacia las múltiples innovaciones del siglo XVII, participaron y colaboraron activamente en la Revolución Científica.

Lo que sin duda sí ocurrió en este periodo es que el aristotelismo se vio confrontado con rivales serios y radicalmente diferentes, como no los había conocido en la Baja Edad Media. A lo largo de la Edad Moderna surgieron nuevas cosmovisiones –la magnética, la química, la matemática, la de la magia natural, la mecanicista y otras– que presentaron su candidatura como posibles alternativas, mientras la escolástica trataba de encajar los nuevos materiales e ideas dentro del marco «aristotélico». Las continuas controversias entre los partidarios de los distintos sistemas dieron como resultado no sólo una abundante pirotecnia dialéctica, sino también un amplio abanico de respuestas ecléctica a la urgente necesidad de establecer una nueva filosofía de la naturaleza, preferiblemente de carácter general.

Desde la perspectiva actual, es difícil imaginar la gran diversidad de puntos de vista y enfoques que florecieron en la Edad Moderna sobre cuestiones y métodos fundamentales, así como la fertilidad y el fervor con que un número cada vez mayor de filósofos de la naturaleza exploraban el mundo y diseñaban sistemas –algunos restringidos, otros a gran escala– para tratar de dar sentido a todo aquello. El carácter realmente «revolucionario» que se le atribuye al periodo de los siglos XVI y XVII tiene mucho que ver con este estado de cosas.

5. El microcosmos y el mundo de los seres vivos

Además del mundo situado más allá de la Luna y del mundo más acá de la Luna, había un tercero que captó poderosamente la atención de los pensadores modernos: el *microcosmos* o 'pequeño mundo' del cuerpo humano. Este mundo viviente que es nuestro cuerpo atrajo la atención de médicos, anatomistas, químicos, mecanicistas y otros, que exploraron sus estructuras internas e intentaron comprender sus funciones con la esperanza de encontrar nuevas formas de mantenerlo sano. La vida que caracteriza al cuerpo humano lo une de forma natural al resto de la vida sobre la Tierra: la flora y la fauna.

El catálogo de seres vivos estalló literalmente durante la Revolución Científica, no sólo debido a los viajes de exploración sino también a la invención del microscopio, que desveló mundos increíblemente complejos en los objetos ordinarios y nuevos mundos vivientes en una simple gota de agua.

La medicina

El cuerpo humano constituía la primera preocupación del médico, y la medicina gozó de un alto prestigio social e intelectual a lo largo de la Baja Edad Media y la Edad Moderna. Junto con las de Derecho y Teología, la de Medicina era una de las tres facultades superiores de la universidad. Los conocimientos médicos impartidos en 1500 eran un cúmulo de experiencias e innovaciones medievales árabes y latinas sobre un núcleo de antiguas enseñanzas griegas y romanas. Galeno, Hipócrates e Ibn Sīnā? (Avicena, *c.* 980-1037) eran sus principales autoridades, y la teoría humoral, su fundamento. La teoría humoral sostenía que la salud del cuerpo depende no sólo del buen funcionamiento de los diversos órganos, sino también del equilibrio –llamado *temperamento*– entre los cuatro «humores» o fluidos que se encuentran en el cuerpo: sangre, flema, bilis amarilla y bilis negra. Estos cuatro humores se correspondían con los cuatro elementos aristotélicos y compartían sus emparejamientos con las cualidades primarias (Figura 13).

El papel del médico era ayudar a la naturaleza a restablecer el equilibrio humoral mediante la prescripción de determinadas dietas, regímenes diarios y medicamentos. Esta medicina predominantemente galénica funcionaba por «curas contrarias»; es decir, si un paciente tenía lo que, galénicamente, todavía llamamos un «resfriado», resultado de un exceso de flema (el humor frío y húmedo), había que administrar alimentos y medicinas calientes y secos para ayudar a restaurar el equilibrio. Para bajar la fiebre era necesario administrar medicamentos

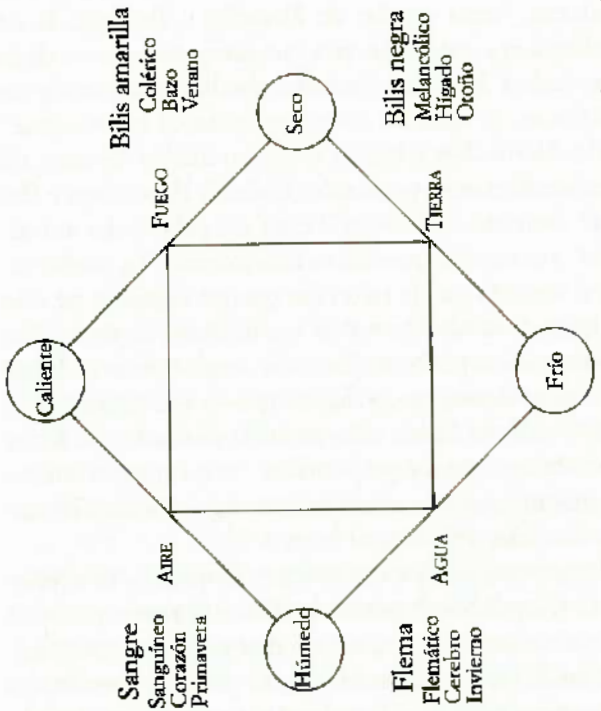


Figura 13. «Cuadrado de los elementos», que muestra sus cualidades y sus relaciones con los cuatro humores, las cuatro complexiones corporales y las cuatro estaciones.

fríos y húmedos, baños de agua fría o tal vez sangrías para eliminar el exceso de sangre y su calidad de caliente.

Las múltiples relaciones que se pensaba existían entre el mundo supralunar y el cuerpo humano ilustran admirablemente el carácter conexo del mundo moderno. La influencia del macrocosmos en el microcosmos prácticamente nadie la ponía en duda, aunque los detalles de esa interacción eran objeto de constantes debates. Así, la astrología desempeñaba un papel clave tanto en el diagnóstico como en el tratamiento; la aplicación principal de la astrología fue probablemente la medicina, no la pronosticación. Cada órgano del cuerpo se correspondía con un signo zodiacal y era particularmente susceptible a las influencias del planeta que se asemejaba a él en sus cualidades (Figura 14).

Por ejemplo, sobre el cerebro, un órgano frío y húmedo, lo que más influye es la Luna, un planeta frío y húmedo (de ahí la palabra «dunático» para designar a alguien que se considera que está trastornado). Conocer las posiciones planetarias al inicio de una enfermedad podía por lo tanto ser de utilidad en el diagnóstico y ayudar al médico a entender las influencias ambientales predominantes o a localizar las partes del cuerpo potencialmente afectadas. Además, se pensaba que cada persona tenía una única proporción de humores –que formaba su «complexión»–, impresa por las influencias planetarias reinantes en el momento de nacer; cada paciente debía ser restituido a su propia complexión. En la medicina de la Edad Moderna no había recetas de validez general. El tratamiento médico había que adaptarlo a cada paciente; no se podía administrar la misma píldora a todo el mun-

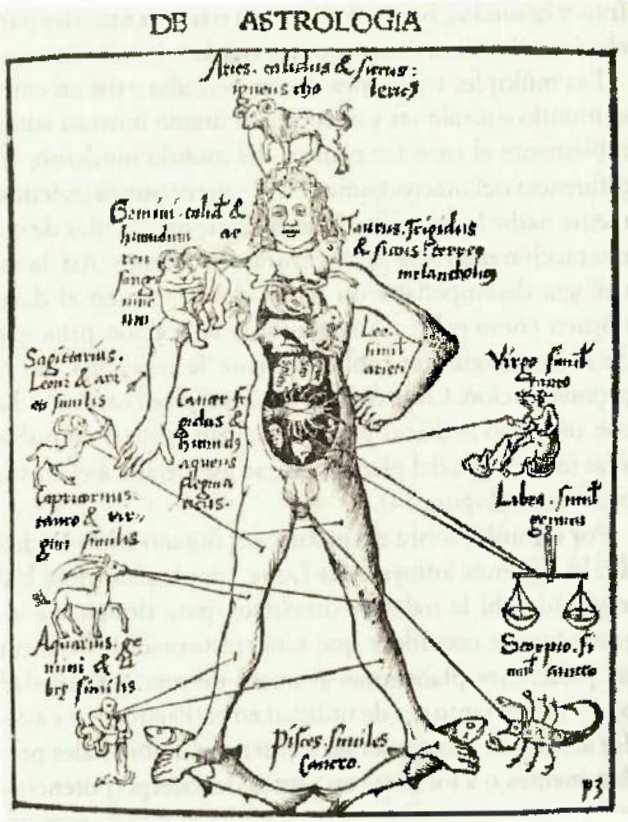


Figura 14. Carta de los órganos y sus correspondencias zodiacales (de una enciclopedia moderna compilada por Gregor Reisch y titulada *Margarita philosophica*, Friburgo, 1503).

do, y junto con el tratamiento había que seguir una dieta y un régimen especial. De ahí que el médico examinara a veces la carta natal del paciente para conocer su complexión. Los cálculos astrológicos también podían ayu-

dar a determinar el momento idóneo para administrar el tratamiento médico de acuerdo con la idea hipocrática de los «días críticos» según la cual en el curso de la enfermedad hay puntos de «crisis» que deben superarse para que el paciente se recupere. El diagnóstico se basaba también en el examen de la orina; había cartas de referencia portátiles, con tablas del color, olor, consistencia e incluso el sabor de la orina del paciente y la relación entre estos indicadores y diversas dolencias. Y lo mismo para la frecuencia, el ritmo y la fuerza del pulso.

Los métodos terapéuticos, al menos entre los médicos titulados, no cambiaron gran cosa durante la Revolución Científica. A pesar de una lenta evolución como resultado de nuevas ideas y descubrimientos, el núcleo de la medicina galénica e hipocrática se mantuvo hasta bien entrado el siglo XVIII (aunque los diagnósticos astrológicos empezaron a caer en desuso en el XVII). Esta capacidad de resistencia refleja tanto la estabilidad de los planes de estudios de las escuelas de Medicina como la estructura gremial o de licencias de la profesión, que fomentaba el conservadurismo. Las innovaciones vinieron a menudo de fuera del cuerpo de médicos licenciados.

El establecimiento de un procedimiento estricto de autorización sólo era posible en los grandes centros urbanos. En la mayoría de los lugares, la salud de la gente estaba en manos de curanderos que tenían poca o ninguna formación médica formal y cuyo número sobrepasaba con mucho al de los médicos con licencia. Prácticamente todos los cabezas de familia disponían de una lista de remedios caseros para familiares y vecinos. Los farmacéuticos ponían al alcance de todo el mundo tanto los medi-

camentos simples como las fórmulas magistrales, de manera que quien más quien menos podía llegar a elaborar él mismo incluso medicamentos complejos (y a veces peligrosos). Las cirugías las realizaban los cirujanos-barberos, que tenían menos reputación y menos formación reglada que los médicos. Los médicos «empíricos» –médicos sin licencia que ofrecían diversos medicamentos y tratamientos– tenían su mejor clientela en las ciudades, pese a los frecuentes intentos de expulsarlos de Londres, París y otros grandes centros urbanos. En clarísimo contraste con la práctica médica actual, algunos tratamientos se hacían bajo contrato: la remuneración del médico dependía del éxito de su intervención.

La aceptación de los enfoques médicos radicalmente nuevos como el paracelsismo y, en el siglo XVII, el helmontismo fue más rápida entre los practicantes sin título, que a menudo estaban enfrentados directamente con la profesión médica. Pero, aunque despacio, los nuevos enfoques químicos de la medicina fueron entrando con paso firme en las farmacopeas oficiales y en las prácticas de instituciones profesionales como el Royal College of Physicians ('Real Colegio de Médicos') de Londres, fundado en 1518. En Francia, la conservadora Facultad de Medicina de París, de orientación galénica, y la Facultad de Montpellier, de orientación paracelsista, libraron durante decenios una batalla sobre los riesgos y beneficios de los medicamentos químicos. El conflicto era también reflejo de las grietas que existían entre los parisinos, centralistas, proclives a la monarquía y predominantemente católicos, y los habitantes de Montpellier, provincianos y en su mayoría protestantes. Su más encendido debate,

sobre el uso médico del antimonio –un elemento tóxico–, sólo tocó a su fin después de 1658, cuando Luis XIV, tras caer enfermo durante una campaña militar y no responder a los tratamientos tradicionales dispensados por los médicos reales, se curó con un vómito inducido por una dosis de antimonio administrado en el vino por un médico local. A partir de ahí, la Facultad de Medicina de París no tuvo más remedio que votar a favor de legalizar el uso de este *vin émétique* paracelsista.

Anatomía

La anatomía experimentó un desarrollo significativo en la Edad Moderna. Galeno resaltó ya la importancia de la anatomía en la Antigüedad, pero como los romanos consideraban que la disección era una violación social y moralmente inaceptable del cadáver, tuvo que limitarse a diseccionar monos y perros y transferir por analogía sus conclusiones al cuerpo humano (aunque también es cierto que su cargo como médico de gladiadores tuvo que permitirle ver de vez en cuando las entrañas humanas al natural).

En la Antigüedad sólo se hacían disecciones humanas en Egipto, probablemente porque la apertura del cadáver y la extracción de los órganos eran allí operaciones corrientes por la práctica de la momificación. Más tarde, en la Baja Edad Media, la disección humana se convirtió en práctica común en las facultades de Medicina italianas como Padua y Bolonia. Hacia 1300, los estudiantes de Medicina tenían que asistir a una disección humana como parte de su formación. El mito decimonónico de

que la Iglesia católica prohibió la disección humana no tiene absolutamente ningún fundamento. El principal obstáculo que encontraban las disecciones humanas era la escasez de cadáveres. Como la gente respetable no permitía que su cuerpo o el de sus parientes fuese expuesto y abierto delante de un auditorio, las disecciones dependían de los cadáveres de criminales ajusticiados, a menudo extranjeros.

El interés por la anatomía humana aumentó considerablemente a principios del siglo XVI, sobre todo en Italia, y culminó con la monumental obra *Sobre la estructura del cuerpo humano* de Andreas Vesalio (1514-1564), publicada en 1543, el mismo año en que se publicó *Sobre las revoluciones* de Copérnico. Nacido en Flandes, Vesalio estudió en Padua y fue nombrado profesor de Cirugía el día después de doctorarse. Con la ayuda de un juez encargado de programar convenientemente las ejecuciones (sin refrigeración ni conservantes, los cadáveres tenían que ser diseccionados sin demora), Vesalio realizó gran número de disecciones minuciosas, observó los errores de Galeno y otros autores y agrupó las partes del cuerpo humano de manera diferente a como se acostumbraba a hacer hasta entonces, atendiendo no sólo a criterios funcionales sino también estructurales.

Aprovechando las dotes artísticas de los pintores del taller de Tiziano, Vesalio supervisó la producción de dibujos anatómicos sumamente detallados que constituyen una de las principales características del libro, en cuyo texto se explica con gran detalle cada ilustración y cada característica anatómica. La producción de una obra tan ricamente ilustrada no habría sido posible sin la

imprenta. Sin embargo, como el lujoso volumen era caro, Vesalio decidió publicar una edición más económica para estudiantes, a través de la cual tuvieron gran difusión sus ideas, descubrimientos y principios organizativos. El creciente interés por la anatomía condujo a la construcción de anfiteatros anatómicos, primero en Padua (1594) y luego en Leiden (1596), Bolonia (1637) y otros lugares. Aunque destinados a la enseñanza de los estudiantes de Medicina, estos anfiteatros, en especial los del norte de Europa, atrajeron también (por genuino interés o por un efecto de moda) a numerosos espectadores de un público más general.

Las disecciones no se limitaban a cadáveres humanos ni a las escuelas de Medicina. Con el auge de las sociedades científicas en el siglo XVII, la disección de animales se convirtió en una parte importante de sus actividades. En las décadas de 1670 y 1680 fueron a parar a la joven Académie Royale des Sciences parisina los cadáveres de los animales exóticos que morían en la casa de fieras de Luis XIV, entre ellos un avestruz, un león, un camaleón, una gacela, un castor y un camello. Diseccionando este último, el director de la Academia, Claude Perrault (1613-1688), sufrió un corte con el escalpelo y murió a causa de la infección. En las décadas de 1650 y 1660 en Oxford, y más tarde en la Royal Society de Londres, varios empleados se encargaban de disecar no sólo cadáveres sino también animales vivos, especialmente perros, en experimentos que resultarían demasiado horrorosos para el lector actual (y que espeluznaron también al propio Boyle). El propósito de estos experimentos era conocer el verdadero funcionamiento de los nervios, tendones, pulmones,

venas y arterias. Muchos de ellos consistían en inyectar diferentes líquidos para observar su flujo a través del cuerpo y sus efectos fisiológicos; o bien en transfusiones de sangre, a veces de una especie a otra, incluidos los intentos de curar a enfermos humanos con sangre transfundida directamente de ovejas sanas.

El interés por la sangre y por el movimiento de los fluidos corporales provenía en parte de los argumentos de William Harvey (1578-1657) a favor de la circulación sanguínea, publicados en 1628. Según Galeno, el sistema venoso y el arterial son dos unidades separadas. El hígado produce continuamente sangre venosa oscura que es distribuida por las venas por todo el cuerpo como sustancia nutritiva. Una parte de esta sangre entra en el corazón, donde pasa a través de los poros del tejido que separa los ventrículos derecho e izquierdo (el tabique interventricular). Allí, el aire tomado de los pulmones a través de la arteria pulmonar la convierte en sangre arterial brillante, que nutre el cuerpo a través del sistema arterial. La sangre no vuelve nunca al corazón.

Los anatomistas del siglo XVI encontraron sin embargo fallos en el sistema de Galeno. Pusieron en duda la existencia de poros en el tabique interventricular y comprobaron que la arteria pulmonar estaba llena de sangre y no de aire. Esta última observación llevó a proponer la «circulación menor»: la sangre venosa pasa del corazón a través de los pulmones y luego regresa al corazón antes de circular hacia el cuerpo. Harvey estudió en la Universidad de Padua con los mejores anatomistas de la época, entre ellos Girolamo Fabrizio d'Acquapendente (1537-1619), que dejó una descripción de las «válvulas» que él

mismo había descubierto en las venas. Harvey comentaría más tarde que este descubrimiento le había llevado a considerar una circulación más amplia de la sangre.

Harvey cayó en la cuenta de que el volumen de sangre bombeada por el corazón agotaría las reservas de alimento del cuerpo en pocos instantes, a menos que se volviese a reciclar de alguna manera. Utilizando ligaduras para detener el flujo sanguíneo de forma selectiva, dedujo experimentalmente la circulación «mayor»: el corazón bombea la sangre circularmente a través del sistema arterial y el venoso, que están conectados entre sí. El movimiento circular de la sangre le pareció a Harvey una idea satisfactoria porque significaba que el microcosmos imitaba al macrocosmos, cuyo movimiento circular natural era considerado por Aristóteles como el más perfecto. De hecho, Harvey mantuvo enfoques y métodos aristotélicos, y si se centró en el estudio del corazón y de la sangre fue en parte por el papel central que Aristóteles les había concedido: un ejemplo más de su constante importancia en la Revolución Científica.

Harvey no logró sin embargo descubrir los diminutos capilares que conectan las arterias con las venas. El primero que vio estas estructuras, cuatro años después de la muerte de Harvey, fue Marcello Malpighi (1628-1694), quien observó el movimiento de la sangre a través de los diminutos vasos que unen la vena pulmonar con la arteria pulmonar en los tejidos pulmonares transparentes de la rana; extrapolando, llegó a la conclusión de que las arterias y las venas estaban conectadas por vasos similares en todo el cuerpo. Para esta observación utilizó un invento relativamente nuevo: el microscopio.

Microscopía, mecanicismo y generación espontánea

Los orígenes del microscopio a principios del siglo XVII son oscuros, pero este instrumento, al igual que su hermano el telescopio, desveló un mundo nuevo y provocó la aparición de nuevas ideas. Aunque Galileo utilizó un dispositivo parecido a su telescopio para aumentar objetos pequeños, los primeros dibujos basados en imágenes obtenidas con el microscopio son los que aparecen en los estudios de abejas llevados a cabo en 1625 por Francesco Stelluti y Federico Cesi y dedicados al papa Urbano VIII, cuya familia, los Barberini, tenía a la abeja como emblema. Robert Hooke construyó en la década de 1660 una versión mejorada del microscopio, y con él examinó de todo, desde piojos y otros pequeños insectos hasta cristales de hielo y la estructura fina del corcho, dividida en compartimentos a los que llamó *cells* ('celdas' o 'células') por su parecido con los habitáculos monásticos.

Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723), comerciante de telas y agrimensor de Delft, fue quien fabricó los dispositivos de aumento más simples y más potentes. Utilizando como única lente una diminuta cuenta esférica de vidrio construyó más de 500 microscopios, y publicó más observaciones microscópicas que ningún otro autor. Por sus microscopios pasó una variedad increíble de objetos: observó «gusanos» en el semen humano y animal, corpúsculos en la sangre (y su movimiento a través de capilares en la cola de una angula), bacterias en la placa dental y enjambres de «animálculos» en el agua de un estanque y en infusiones de materia vegetal. Su descubri-

miento de los espermatozoides alimentó un animado debate sobre la naturaleza de las generaciones en animales y vegetales. El propio Leeuwenhoek era partidario del «preformacionismo», la idea de que en cada espermatozoide (o, según algunos de sus contemporáneos, en cada óvulo) se halla contenida una versión en miniatura de la descendencia. El punto de vista opuesto, la «epigénesis», sostenía que la estructura embrionaria se produce *de novo* y en sucesivas etapas durante la gestación.

El preformacionismo atrajo especialmente a los filósofos mecanicistas, ya que reducía la generación a una simple cuestión de crecimiento mecánico: un organismo diminuto se hacía simplemente más grande mediante la asimilación de nueva materia. En ese sentido, abandonaba las fuerzas vitales inmateriales que la mayoría de los partidarios de la epigénesis consideraban necesarias para transformar material amorfo –semen o sangre de la menstruación o el líquido de un óvulo– en un embrión organizado y diferenciado. Harvey, que era epigenetista, abrió huevos de gallina en distintas etapas de su desarrollo y observó que lo primero que se formaba era la sangre, cosa que interpretó como prueba de que ésta era la sede de la vida y de un alma vital que guiaba la formación de la descendencia. El preformacionismo planteaba sin embargo el problema de dónde y cuándo comenzaba realmente la diminuta forma del nuevo organismo. Hubo quienes sugirieron que todas las generaciones futuras estaban contenidas, una dentro de otra, en el interior de una primera especie creada por Dios.

El descubrimiento microscópico de estructuras aparentemente mecánicas en los organismos vivos entusias-

mó sobre todo a los mecanicistas, razón por la que la mayoría de quienes utilizaron el microscopio a finales del siglo XVII pertenecían a esta escuela de pensamiento. Si aceptaron la teoría de circulación de la sangre de Harvey fue, entre otras razones, porque concebía el corazón como una bomba, un dispositivo mecánico (a pesar de que Harvey distaba mucho de ser mecanicista), e intentaron reducir los sistemas vivos complejos a principios mecánicos. En Florencia, Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), por ejemplo, analizó los movimientos animales en términos de máquinas simples, equiparando los huesos, los tendones y los músculos a palancas, puntos de apoyo y cuerdas, y los fluidos y los vasos del cuerpo, a sistemas hidráulicos y de fontanería, iniciando de esta manera lo que se ha llamado la «biomecánica». En Londres, Nehemiah Grew (1641-1712) exploró las estructuras anatómicas internas de las plantas y contribuyó a la fundación de la fisiología vegetal. Algunos mecanicistas albergaban incluso la esperanza de que el microscopio, una vez mejorado, permitiese observar directamente los átomos, sus formas y sus movimientos, exponiendo a la observación directa los principios explicativos fundamentales de la filosofía mecanicista.

Las observaciones microscópicas estaban abiertas –como lo están todas las observaciones– a interpretaciones contradictorias. Mientras que el descubrimiento de los espermatozoides podía interpretarse como una prueba a favor del preformacionismo, otro descubrimiento realizado por aquel entonces (el de la aparición, como de la nada, de incontables criaturas vivientes en el agua estancada) hablaba fuertemente a favor de las ideas comúnmente

aceptadas sobre la generación espontánea (es decir, que de la materia inerte podían surgir seres vivos), que a su vez servían de soporte a la creencia epigenética de que las estructuras vivientes emergen de una materia originalmente amorfa.

Durante siglos, la mayoría de los filósofos de la naturaleza habían supuesto que en determinadas circunstancias podían aparecer espontáneamente formas de vida simples: un cadáver de vaca en putrefacción generaba abejas, el cieno generaba lombrices, la carne putrefacta generaba gusanos. En una serie de famosos experimentos realizados en la década de 1660 en la corte de los Médici, Francesco Redi (1626-1697) dejó pudrirse al aire libre unos trozos de carne, algunos de ellos cubiertos con una malla o tela y otros al descubierto. Los que estaban al descubierto produjeron gusanos, mientras que éstos no aparecieron en el otro caso, cuando se impidía el acceso a las moscas. Como ocurre con la mayoría de los experimentos que en retrospectiva se consideran «definitivos», los de Redi no acabaron de inmediato con la creencia en la generación espontánea, porque los resultados admitían otras explicaciones (que de hecho fueron propuestas); y el propio Redi admitió que algunos insectos –como la avispa gallarita– podían ser generados directamente a partir de materia vegetal. Aunque el hombre contemporáneo se mofa generalmente de la creencia en la generación espontánea, merece la pena señalar que actualmente todo científico que no crea en una creación especial de la primera forma de vida por intervención milagrosa divina tiene en consecuencia que creer en la generación espontánea de vida a partir de la materia inerte.

El microscopio y la concepción mecanicista de los sistemas vivos no cumplieron finalmente las esperanzas puestas en ellos. Con el material y los sistemas ópticos de que se disponía en aquella época se alcanzaron enseguida los límites máximos de aumento y resolución. La investigación microscópica había revelado una complejidad tan enorme de los sistemas vivos que las explicaciones mecanicistas parecían cada vez más insuficientes para explicar su formación y su funcionamiento. Pero incluso en el momento de máxima popularidad de los enfoques mecanicistas surgieron otros modelos más vitalistas. De hecho, la línea de separación entre lo viviente y lo no viviente no estaba para nada clara en el siglo XVII, y muchos pensadores adoptaron sistemas híbridos, mitad mecanicistas, mitad vitalistas.

Así, pocos mecanicistas eran tan rígidos como para negar la existencia de un alma «animadora» en los sistemas vivos. Un alma así no tenía por qué ser como el alma humana, inmaterial e inmortal, de la teología cristiana; se pensaba más bien en la existencia de formas o niveles diversos en cada entidad (el concepto quizá venga mejor expresado, para el lector contemporáneo, por el término «espíritu vital»). Estas nociones se remontaban a Aristóteles, que propuso tres niveles de alma: un alma «vegetativa» en las plantas, encargada de supervisar el crecimiento y la asimilación del alimento; una segunda alma «sensitiva» en los animales, para gobernar la sensación y el movimiento; y en los seres humanos, además del alma vegetativa y del alma sensitiva, un alma «racional» encargada de gobernar el pensamiento y la razón. Para muchos, las distintas funciones y estructuras del cuerpo po-

dían explicarse mediante principios mecanicistas, pero la organización y el mantenimiento del organismo en su conjunto –por no hablar de la conciencia y el conocimiento– eran funciones del alma.

El helmontismo

De los nuevos sistemas médicos surgidos en el siglo XVII, tal vez el más completo fuese el de Jan Baptista van Helmont (1579-1644), médico, químico y filósofo de la naturaleza flamenco, procedente de una familia noble. Van Helmont combinó la química, la medicina, la teología, la experimentación y la experiencia práctica en un sistema coherente que ejerció mucha influencia. La insatisfacción que le produjo la enseñanza tradicional y el ansia de nuevos conocimientos que reflejan sus escritos autobiográficos son características de los pensadores de la era de la Revolución Científica.

Van Helmont nos relata que estudió en la Universidad de Lovaina, pero que renunció al título porque sentía que no había aprendido nada. Más tarde estudió con los jesuitas, y no sacó mejor impresión. Finalmente se doctoró en Medicina, pero pareciéndole «podridos» los fundamentos de esta disciplina, acudió al paracelsismo, para rechazarlo también en su mayor parte. Van Helmont intentó así empezar de cero; se consideraba un «filósofo por el fuego», con lo que quería decir que su formación no provenía de la enseñanza tradicional, sino de experimentos en los hornos químicos. Van Helmont fue de hecho un extraordinario observador que describió el ori-

gen, los síntomas y el curso de varias enfermedades que no fueron identificadas de nuevo hasta siglos más tarde.

Van Helmont rechazó los cuatro elementos aristotélicos y los *tria prima* de Paracelso, afirmando en cambio que era el agua el elemento fundamental de todas las cosas. Esta idea se remontaba no sólo a Tales, el filósofo griego más antiguo conocido, sino a algo más importante (para Van Helmont): al Génesis 1: 2, donde el Espíritu de Dios crea el mundo mientras «aletea [como una gallina] sobre la faz de las "aguas"». El filósofo belga intentó confirmar esta idea a través de experimentos, el más famoso de los cuales consistió en plantar un sauce llorón de unos 2 kg de peso en 45 kg de tierra y regarlo durante 5 años. Al cabo de ese tiempo, el árbol pesaba 74 kg, mientras que la tierra apenas había menguado de peso; Van Helmont concluyó por tanto que la composición entera del árbol tenía que haber sido producida a partir del agua solamente.

De acuerdo con Van Helmont, las *semina* ('semillas') implantadas en el mundo en el momento de la Creación tienen el poder de transformar el agua en cualquier sustancia. Estas *semina* no son semillas físicas como las judías, sino principios organizativos inmateriales, como el principio vital invisible que organiza el fluido de una yema de huevo en un pollo. El fuego y la putrefacción destruyen las *semina* y su poder de organización, convirtiendo así las sustancias en otras parecidas al aire, a las que Van Helmont dio el nombre de *Gas* (término derivado de la palabra griega *chaos* y origen directo del término que utilizamos hoy para designar el tercer estado de la materia). Así, la combustión del carbón y la fermentación de la cerveza liberan un *Gas sylvestris* asfixiante, y la combustión de azufre, un *Gas sulphuris* maloliente. En las partes frías de la atmósfera, este gas termina por convertirse de nuevo en agua primordial y caer en forma de lluvia, cerrando así el ciclo de las sucesivas transformaciones del agua en la economía de la naturaleza de Van Helmont.

Al igual que Paracelso, pero de manera más sofisticada, Van Helmont sostuvo que los procesos corporales eran sobre todo químicos. Reconoció la acidez del jugo gástrico responsable de la digestión y analizó los fluidos corporales, entre ellos la orina, al objeto de encontrar la causa y el remedio de una de las enfermedades más dolorosas del siglo XVII: los cálculos renales y vesicales. Pero en su opinión los procesos químicos no bastaban por sí solos para explicar los procesos vitales, que tenían que ser gobernados por una entidad cuasi espiritual alojada en el cuerpo y llamada *archeus*. Para Van Helmont, el *archeus* regula y gobierna las funciones corporales. La enfermedad es consecuencia de un *archeus* debilitado, incapaz de realizar sus funciones; el tratamiento médico debe por lo tanto estar dirigido a fortalecer el *archeus*.

Van Helmont rechazaba, pues, las nociones galénicas relacionadas con la complexión, los cuatro humores y los métodos de curación. Según él, las enfermedades como la peste no se deben a un desequilibrio humoral sino a «semillas» externas de enfermedad que invaden el cuerpo y lo transforman. Un *archeus* fuerte puede disipar esas semillas, pero si está débil necesita ayuda. (Obsérvese que tanto en la medicina galénica como en la de Van Helmont, el papel del médico es siempre el de «asistir» a los procesos naturales, nunca el de desviarlos o ejercer control sobre el cuerpo.) Van Helmont subrayó también el papel

del estado mental y emocional del paciente y afirmó que el poder de la imaginación puede inducir cambios físicos en el cuerpo. Las ideas de Van Helmont influyeron profundamente en muchos médicos, fisiólogos y químicos.

Las concepciones mecanicista y vitalista de los sistemas vivos no eran irreconciliables, sino más bien los dos extremos de un continuo, y muchos médicos y filósofos de la naturaleza adoptaron posiciones intermedias. Al igual que Van Helmont, del que fue coetáneo, Gassendi recurrió a la noción de las semillas como poderosos principios capaces de organizar la materia en nuevas formas. Pero mientras las semillas de Van Helmont eran inmateriales, las de Gassendi eran combinaciones especiales de átomos físicos (divinamente organizados) que actuaban mecánicamente sobre la materia.

Las especulaciones mecanicistas y vitalistas produjeron en el siglo XVIII sistemas médicos híbridos, como el de Georg Ernst Stahl (1659-1734), que resaltaba la naturaleza mecánica de las transformaciones químicas pero también la necesidad de fuerzas vitales que organizaran y dirigieran los sistemas vivos. Herman Boerhaave (1668-1738), quizás la voz más influyente en la medicina del siglo XVIII, especialmente en el terreno de la pedagogía, trenzó juntas diversas hebras de la filosofía natural del siglo XVII. Como profesor de medicina y de química en la facultad de Medicina de la Universidad de Leiden, Boerhaave defendió firmemente tanto los métodos de curación hipocráticos (especialmente atentos al medio ambiente y a la individualidad del paciente) como la importancia de la química para la formación médica. Su concepción de la medicina y del cuerpo combinaba aspectos de la filoso-

fía mecanicista de Boyle, de la física de Newton y de las «semillas» de Van Helmont.

Por otro lado, las reformas de la educación médica propuestas por Boerhaave se adoptaron en muchas partes de Europa (lo que le valió a veces ser reconocido como «Maestro de Europa») y resultaron fundamentales para los grandes cambios que se producirían luego en la medicina del siglo XVIII.

Plantas y animales

El estudio de la flora y la fauna –lo que llamaríamos ahora la botánica y la zoología– tuvo un desarrollo enorme en los siglos XVI y XVII. La ubicación textual de este material tenía una tradición enciclopédica, derivada de la impresionante *Historia Natural* compilada por Plinio el Viejo (23-79 d. C.) en un intento de reunir y divulgar el saber griego para el público romano. Los herbarios y bestiarios medievales estaban llenos de descripciones enciclopédicas de plantas y animales, y este formato se mantuvo en la Revolución Científica.

Uno de los más famosos es la *Historia de los animales* en cinco volúmenes de Conrad Gessner (1516-1565), con cientos de xilografías. Sin embargo, muchos de esos volúmenes le resultarían extraños al lector contemporáneo, pues en ellos se mezclan detalles naturalistas y descriptivos de las diferentes especies con numerosos significados literarios, etimológicos, bíblicos, morales, mitológicos y metafóricos que se habían ido acumulando alrededor de cada animal y planta desde la Antigüedad. Ninguna descrip-

ción del pavo real habría estado completa sin mencionar su orgullo, o de la serpiente sin mencionar su papel engañoso en la Caída de Adán, o del llantén (una planta común que crece al borde de los senderos) sin señalar que significa el camino trillado de Cristo. Las plantas y los animales no se presentan como especies aisladas, sino formando parte de tupidas redes de significados y alusiones. Son objetos naturales y al mismo tiempo emblemas dependientes de la visión de un mundo de significados estratificados, un mundo a la vez literal y metafórico, lleno de mensajes simbólicos que hay que descifrar. De ahí que, junto a seres conocidos, se describan también animales de fábula, como el unicornio, el dragón y monstruos varios, no necesariamente porque los autores creyesen que habitaban realmente en la Tierra, sino porque, existiesen o no en el mundo físico, tenían un significado por el hecho de existir en el mundo literario. Mientras que los lectores contemporáneos considerarían estos textos como «pintorescos», crédulos o llenos de «trivialidades no científicas», el público de aquella época probablemente consideraría estériles y extrañamente desvinculados de la humanidad los actuales textos descriptivos de botánica y zoología.

Dos cambios ocurridos en la Edad Moderna desviaron esta tradición emblemática en otras direcciones. El primero fue la necesidad que tenía la medicina de identificar las plantas medicinales. A medida que los eruditos humanistas fueron recuperando, editando y publicando textos de medicina griegos, se hizo cada vez más necesario identificar las plantas medicinales mencionadas en ellos y localizarlas en la naturaleza. Con ello nació la demanda de nuevos herbarios que sirvieran de puente en-

tre los textos antiguos y lo que crecía en el campo en el siglo XVI. Estos nuevos herbarios colocaron junto a los antiguos nombres griegos las denominaciones utilizadas comúnmente en aquellos tiempos, incluyendo además ilustraciones precisas y naturalistas. Lo mismo que Vesalio había colaborado con los pintores del taller de Tiziano, en el siglo XVI hubo una nueva generación de botánicos que trabajaron con artistas para elaborar herbarios provistos de numerosas ilustraciones hechas del natural: por ejemplo, el *Herbarium vivae icones* (1530-1536) *(Imágenes vivas de las plantas),* de Otto Brunfels, y la *Historia de las plantas* (1542), de Leonhart Fuchs.

El segundo cambio fue la expansión de los horizontes europeos. En un primer nivel se constataba que las autoridades antiguas, como Dioscórides, habían descrito principalmente plantas mediterráneas, dejando sin identificar las especies del norte de Europa, lo que hizo necesario proporcionar descripciones de las plantas que carecían de pedigrí clásico. El mismo problema, pero en una escala mucho mayor, se planteaba en relación con un sinfín de plantas y animales encontrados por primera vez en los viajes fuera de Europa, especialmente en las Américas. Plantas comestibles como la patata, el maíz y el tomate; plantas medicinales como la «corteza jesuita» (cinchona o quina, de donde se extrae la quinina, un remedio contra la malaria) y nuevos animales como la zarigüeya, el jaguar y el armadillo enriquecieron considerablemente el catálogo de la flora y la fauna conocido por los europeos. Estas nuevas aportaciones no habían tenido ocasión de acumular a su alrededor las tradicionales redes de correspondencias y emblemas, y por lo tanto no encajaban en el

formato tradicional de los herbarios y bestiarios. En España, a donde llegaban en primera instancia la mayoría de los informes del Nuevo Mundo, los encargados por el rey para organizar la información se vieron obligados a renunciar a los métodos enciclopédicos al uso basados en modelos clásicos como el de Plinio, por dos razones: en primer lugar porque los nuevos descubrimientos dejaban obsoletas las antiguas taxonomías, y en segundo lugar, porque el flujo incesante de nueva información hacía imposible una organización general de los conocimientos.

Los españoles que andaban por el Nuevo Mundo, muchos de ellos miembros de órdenes religiosas, se esforzaron por escribir la crónica de las plantas, los animales y las prácticas médicas autóctonas, a veces en colaboración con estudiosos indígenas para la elaboración de textos ilustrados. José de Acosta (1539-1600), a veces llamado el «Plinio del Nuevo Mundo», fue un jesuita que viajó al Perú y que, amén de fundar cinco universidades, escribió una historia natural de América Latina ampliamente publicada, traducida y citada en Europa. El rey Felipe II envió en 1570 a su médico Francisco Hernández en una expedición destinada expresamente a buscar plantas medicinales en el Nuevo Mundo. Hernández dedicó siete años, la mayor parte de ellos en México, a catalogar plantas y a conocer sus propiedades de boca de curanderos indígenas, mientras que un equipo de artistas nativos realizaba las ilustraciones que luego se incluirían en los seis volúmenes de la obra *Plantas y Animales de la Nueva España* (donde se describen alrededor de tres mil plantas y docenas de animales). Frustrado por la imposibilidad de introducir nuevas plantas en las taxo-

nomías clásicas, Hernández llegó a adoptar los nombres indígenas para crear una nueva taxonomía botánica.

Por aquel entonces, el fraile franciscano Bernardino de Sahagún (1499-1590), trabajando con asistentes e informantes aztecas en el Colegio de Santa Cruz de Tlatelolco en México, preparó la *Historia General de las Cosas de Nueva España,* una extensa obra en español y náhuatl que describe la cultura, costumbres, sociedad y lenguaje aztecas. En España, el médico Nicolás Monardes (1493-1588) compiló una *Historia medicinal de las cosas que se traen de nuestras Indias Occidentales* en la que se describen decenas de especies del Nuevo Mundo. Estudiosos portugueses como García de Orta (1501-1568) y Cristóvao da Costa (1515-1594) también informaron sobre las plantas medicinales y los animales que hallaron en la India y en otras partes de Asia meridional y oriental.

La búsqueda de nuevos medicamentos impulsó el estudio de nuevas plantas y en consecuencia la creación de jardines botánicos, por lo general en el marco de las escuelas de Medicina. Ya los huertos medicinales formaban parte de los monasterios en la Edad Media, y los nuevos jardines botánicos tomaron esos huertos como punto de partida y los expandieron con fines pedagógicos y de investigación. Los primeros jardines botánicos se abrieron en Italia en las universidades de Pisa y Padua, en la década de 1540, y en Bolonia en 1568, junto con la creación de cátedras de Botánica médica. Enseguida siguieron otros centros de enseñanza de la Medicina en Valencia (1567), Leiden (1577), Leipzig (1579), París (1597), Montpellier (1598) y Oxford (1621), por nombrar solamente algunos. Estos jardines estaban organiza-

dos con arreglo a un orden riguroso, agrupando las especies por sus propiedades terapéuticas, su morfología o su procedencia geográfica. Se buscaban, se compraban y se intercambiaban semillas, raíces, esquejes y bulbos, ampliando así la gama de plantas disponibles en los jardines de toda Europa. El interés en el cultivo e hibridación de plantas poco usuales se extendió a los particulares, lo que condujo en el siglo XVII a la célebre «tulipomanía» en los Países Bajos, durante la cual parte de las fortunas burguesas recientemente amasadas fueron a parar a la adquisición de híbridos raros, mientras los artistas plasmaban flores exóticas en sus naturalezas muertas.

Este aumento generalizado del interés por lo exótico y lo raro se tradujo en la afición a coleccionar especímenes naturales de todo tipo en los llamados «gabinetes de curiosidades» (Figura 15). Aunque estas colecciones fueron en cierto sentido las precursoras de los museos, servían también como una forma de exhibición del poder, la riqueza y los contactos e intereses de sus propietarios, además de para provocar el asombro ante las maravillas de la naturaleza y del arte. Príncipes, aristócratas y eruditos amasaron colecciones en las que había *naturalia* –especímenes botánicos, zoológicos y mineralógicos– y *artificialia:* artefactos mecánicos, impresionantes obras de arte y artesanía y objetos etnográficos y arqueológicos. Ulisse Aldrovandi (1522-1605) reunió una de las primeras colecciones de este tipo (parte de la cual aún se conserva en Bolonia), y la visita al museo de Athanasius Kircher en el Collegio Romano, haciendo él mismo de guía, era etapa obligada para cualquier visitante de la Ciudad Eterna en el siglo XVII. La organización material

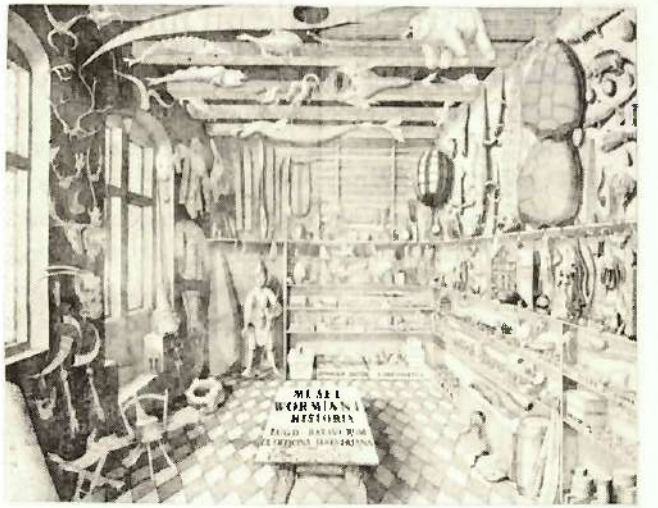


Figura 15. El gabinete de curiosidades de Ole Worm del Museum Wormianum (*The Wormian Museum, or, A History of the Rarer Things both Natural and Artificial, Domestic and Exotic, which the autor collected in his house in Copenhagen*, Leiden, 1655).

de los objetos en el espacio del gabinete ponía de manifiesto las conexiones entre ellos, conexiones que en muchos casos no se nos pasarían a nosotros por la cabeza. Estos gabinetes se convirtieron, pues, en microcosmos de otra especie que mostraban y simbolizaban lo diverso, lo maravilloso y lo exótico de los mundos conexos del hombre y la naturaleza, todo ello comprimido en una sola sala.

6. La construcción de un mundo de ciencia

La ciencia es más que el estudio y la acumulación de conocimientos sobre la naturaleza. Desde la Baja Edad Media hasta nuestros días, el conocimiento científico se ha utilizado cada vez más para modificar el mundo, dar a los seres humanos un mayor dominio sobre él y crear los nuevos mundos en los que ahora vivimos gran parte de nuestras vidas, evidentemente cada vez más separados de la naturaleza. Cada vez son más las personas que viven tan inmersas en el mundo artificial construido por la tecnología que sólo se percatan de su dependencia cuando algo falla, sintiéndose entonces tan indefensas como el campesino medieval cuando no llovía sobre sus tierras. El hombre actual reacciona a menudo consternado cuando el mundo natural impone su ley y se entromete impertinente en ese mundo artificial: los meteoritos o las erupciones solares que interrumpen las comunicaciones por satélite, el rayo que corta el suministro de energía eléctrica o la erupción de un volcán que obliga a cerrar el tráfico aéreo. La proliferación de la tecnología ha cambiado el mundo cotidiano de los seres humanos de manera más radical que cualquier otra cosa en los últimos siglos. Esa explosión tecnológica es tributaria de la investigación científica y al mismo tiempo su impulsora. Los siglos XVI y XVII fueron testigos de un giro especial hacia la aplicación del estudio y el conocimiento científico a los problemas y necesidades de la época.

Un mundo de artificio

En la Italia renacentista surgieron ambiciosos proyectos de ingeniería que transformaron el paisaje rural y urbano. Los canales y las obras de abastecimiento de agua ganaron terreno y proporcionaron agua potable y vías de transporte. La inmensa cúpula de doble bóveda de Filippo Brunelleschi (1377-1446) para la catedral de Florencia, con sus innovadoras técnicas de construcción, dio un nuevo perfil a la ciudad. El nuevo diseño urbano venía a satisfacer el acento humanista en la vida cívica y proclamaba la sabiduría y el poder de los príncipes gobernantes, cuyos intereses eran protegidos con nuevas fortificaciones. Como ocurre a menudo, una nueva tecnología impulsó el desarrollo de otras. La transformación tecnológica de la guerra en el siglo XV debido al creciente uso de la pólvora y a la fabricación de cañones de bronce portátiles dejó anticuadas las fortificaciones medievales, cuyas altísimas almenas ofrecían un blanco in-

mejorable para la artillería. Había, pues, que idear nuevos sistemas de fortificación. Los nuevos diseños de fortificación, basados en principios geométricos, pasaron a ser parte integrante de la educación de los nobles y aristócratas. Los acuciantes problemas de orden práctico (y las ambiciones de la realeza) dieron lugar a la aparición, primero en la Italia del siglo XVI y luego en otros lugares, de una clase de ingenieros y arquitectos eruditos que, siguiendo el ejemplo de los modelos de la Antigüedad –Arquímedes y Vitruvio–, recurrieron progresivamente a principios y análisis matemáticos para la resolución de problemas prácticos. Esta clase emergente, situada entre los artesanos (tributarios de la experiencia manual acumulada) y los académicos (alejados de los asuntos prácticos), proporcionó una base fundamental para la creciente aplicación de la matemática a la investigación del mundo, una característica esencial de la Revolución Científica. Leonardo da Vinci (1452-1519) fue uno de los primeros ejemplos de este grupo «intermedio», como lo fue el ingeniero militar Tartaglia en la segunda mitad del siglo XVI. Galileo, a finales de siglo, se inspiró en estos ingenieros y tomó prestados algunos de sus métodos.

Razones de orden práctico, junto al deseo humanista de emular a los antiguos, fueron las que impulsaron las renovaciones de la ciudad de Roma. Con proyectos de patrocinio papal se exploraron y reconstruyeron antiguos acueductos y alcantarillados. La antigua basílica de San Pedro del siglo IV, que estaba en ruinas, fue demolida para construir la inmensa nueva basílica que existe hoy día, dando pie a una de las hazañas de ingeniería

más espectaculares del siglo XVI: el traslado del obelisco del Vaticano. El monolito, erigido por los romanos en el siglo I, tiene la altura de un edificio de seis plantas y un peso de más de 360 toneladas. Como este monolito del antiguo Egipto quedaba dentro de la planta de la nueva basílica, el papa Sixto V publicó en 1585 un concurso de proyectos para desplazarlo a un nuevo emplazamiento, siendo la primera vez en mil quinientos años que se cambiaba de lugar un obelisco. Ganó el concurso el ingeniero Domenico Fontana (1543-1607). El 30 de abril de 1586, con el esfuerzo conjunto de 75 caballos y 900 hombres trabajando con 40 cabrestantes, cinco palancas de 15 metros y 12 kilómetros de soga, Fontana logró levantar de su base el monolito, encofrado en un armazón de hierro. La operación estaba considerada tan importante que para permitir el óptimo manejo de las palancas y cabrestantes el Papa autorizó que se volviera a derribar una parte de la basílica ya terminada. Una vez izado, el obelisco, colocado sobre un carruaje (Figura 16), fue transportado a lo largo de una calzada y erigido de nuevo en el lugar que ocupa actualmente, en el centro de la Plaza de San Pedro.

Los logros del Renacimiento y las fuerzas económicas y militares necesarias para llevarlos a cabo requerían materiales. El periodo de 1460 a 1550 conoció así un auge de la minería, sobre todo en Europa Central, donde los recursos minerales eran más ricos. La minería medieval había sido en su mayor parte una operación a pequeña escala con la explotación de yacimientos superficiales. Las exigencias de la Europa moderna –hierro y cobre para el armamento y la artillería, plata y oro para la acu-

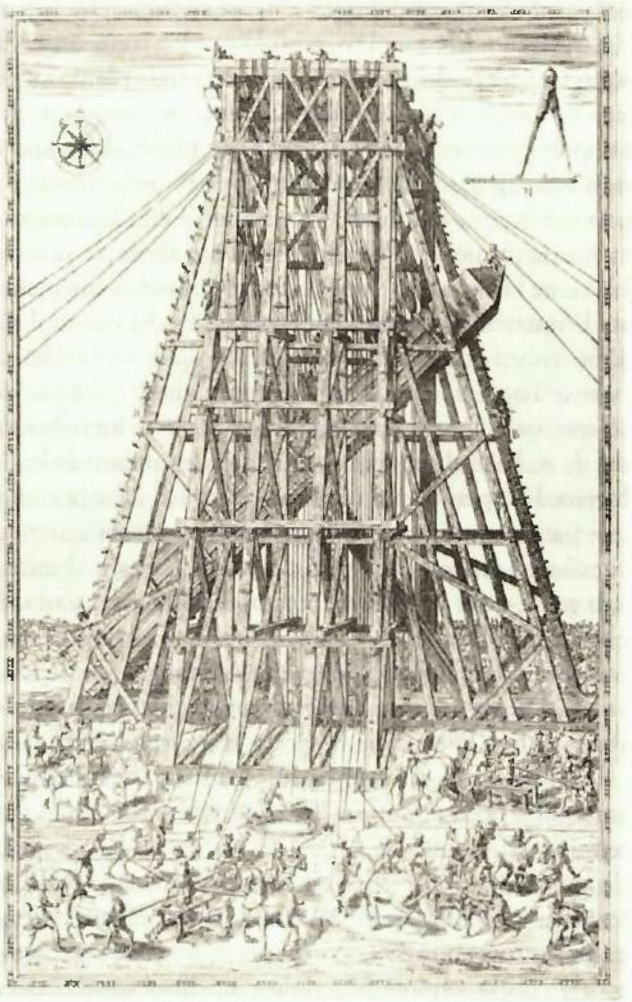


Figura 16. Transporte del obelisco del Vaticano. De Domenico Fontana, *Della trasportazione dell'obelisco vaticano* (Roma, 1590).

ñación de moneda– impulsaron una minería más organizada y a mayor escala, así como al desarrollo de mejores técnicas de fundición y refinación. La mayor profundidad de los pozos y la creciente magnitud de las obras exigían una mayor mecanización –ruedas hidráulicas para accionar los fuelles y los equipos de trituración de rocas, bombas para drenar las minas y pozos de ventilación–, además de una mayor organización del trabajo.

Georgius Agricola (1494-1555), humanista y educador alemán y tal vez el autor más famoso sobre el tema de la minería, trató de organizar y promover el conocimiento en este campo. Su ingente tratado *De re metallica (Sobre los metales)*, escrito en latín y ricamente ilustrado, vino a ser un intento de ennoblecer una actividad por lo demás sucia, relacionando las prácticas de la minería alemana con la literatura clásica y creando un vocabulario latino para la metalurgia. El paisaje de árboles talados, el humo y las corrientes de escorrentía que muestran de paso las ilustraciones de Agricola ponen de manifiesto los costes que supuso para el medio ambiente ese desarrollo. Más útiles que la obra de Agricola para los verdaderos profesionales de la minería fueron probablemente las obras en alemán de Lazar Ercker (*c.* 1530-1994), supervisor de trabajos de minería. Sus libros están llenos de experiencias prácticas sobre el tratamiento de minerales, el ensayo de metales y la preparación de productos químicos como ácidos y sales, entre ellas el salitre, el ingrediente fundamental de la pólvora.

El boom de la minería terminó a mediados del siglo XVI, tanto por el agotamiento de las minas europeas como por el hundimiento de los precios debido al torrente de

metales llegados del Nuevo Mundo, lo que hizo menos rentable la explotación de las minas europeas.

Las promesas del Nuevo Mundo impulsaron los avances en el terreno de la cartografía y la navegación. Las cartas de navegación de finales de la Edad Media, los portulanos, recogían solamente las costas y, superpuestos, los rumbos de la rosa de los vientos desde una serie de puntos. Estas cartas eran útiles para viajes relativamente cortos por el Mediterráneo o para la navegación costera, pero no para proporcionar una perspectiva geográfica de conjunto ni para surcar los océanos. La *Geografía* de Ptolomeo del siglo II, redescubierta en el siglo XV, describía cómo utilizar una cuadrícula de líneas trazadas de este a oeste y de norte a sur (latitud y longitud, respectivamente) en cartografía. Las cartas de finales del siglo XV –como las de Waldseemüller– adoptaron este método, con líneas curvas de latitud y longitud (paralelos y meridianos) que convergían hacia los polos. El cartógrafo flamenco Gerhardus Mercator (1512-1594) popularizó la proyección que lleva su nombre, en la que las líneas paralelas de longitud cortan en ángulo recto las líneas de latitud. Aunque este método de proyección de la esfera terrestre sobre un mapa plano distorsiona las masas de tierra situadas en las altas latitudes, facilitó la navegación (por lo menos en las bajas latitudes) y gozó del favor de los cosmógrafos y los navegantes españoles.

La brújula y el cuadrante –instrumentos para determinar el rumbo y la latitud, respectivamente– se llevaban utilizando en la navegación desde la Edad Media; para determinar la longitud no existía, por el contrario, ningún método fiable. Esta carencia no planteaba grandes

problemas mientras se navegara por aguas europeas o en navegación costera. Pero cruzar el océano era aventura peligrosa sin medidas de longitud exactas. Como para la localización de un lugar se necesitan tanto la latitud como la longitud, la falta de esta última planteaba un problema muy serio a cartógrafos y navegantes, hasta el punto de que la búsqueda de un método para determinar la longitud se convirtió en el problema técnico más acuciante de la época. Las naciones que rivalizaban en el mar –España, los Países Bajos, Francia e Inglaterra– ofrecieron premios suculentos para quien lograra dar con un método fiable.

La clave de la longitud consiste en saber la hora. Cada hora de diferencia en la hora local de dos lugares se traduce en 15° de longitud de separación (por eso las actuales «zonas horarias» tienen más o menos 15° de ancho). Pero, ¿cómo saber la hora en dos lugares distantes al mismo tiempo? Una posibilidad sería llevar encima un reloj puesto en hora en el lugar donde zarpa la nave y comparar luego su lectura en otro momento con la hora local, determinada mediante observaciones del Sol o las estrellas. Desafortunadamente, la precisión de los relojes en aquellos tiempos no era superior a unos veinte minutos por cada veinticuatro horas. La observación de Galileo de que los péndulos baten a un ritmo constante independientemente de la amplitud de oscilación sugirió un nuevo regulador para medir el tiempo. Galileo comenzó a diseñar un reloj de péndulo durante su arresto domiciliario, pero no llegó a construirlo.

Fue Christiaan Huygens en los Países Bajos quien fabricó en 1656 el primer reloj de péndulo funcional, lo que supuso un salto gigantesco en cuanto a fiabilidad.

Pero sólo sería para los relojes colocados en tierra firme, porque en un barco balanceándose de un lado a otro los relojes de péndulo no funcionaban con precisión. Huygens y Robert Hooke experimentaron más tarde de forma independiente con relojes accionados por un resorte, que tampoco resultaron ser suficientemente precisos a bordo de un barco.

En cualquier caso, el estudio de los muelles llevado a cabo por Hooke le permitió enunciar la relación entre la extensión y la fuerza de un resorte, hoy conocida como «ley de Hooke», mientras que el trabajo de Huygens permitió afinar las leyes del movimiento armónico simple. (El problema de la longitud sólo se resolvió en el siglo XVIII, con innovadores cronómetros diseñados por John Harrison, fabricante inglés de instrumentos, capaces de medir con precisión el tiempo incluso en el mar).

La alternativa a los relojes hechos por el hombre eran los relojes celestes: sucesos astronómicos para los cuales se puede calcular el momento en que se producen en un lugar de referencia y luego compararlo con la hora local del suceso en el lugar donde se encuentra el observador. Los cosmógrafos españoles del siglo XVI utilizaron con éxito las observaciones coordinadas de un eclipse lunar para determinar la longitud de las colonias del imperio español, pero lo cierto es que los eclipses lunares son un fenómeno demasiado infrecuente para ser de provecho en la navegación. Las cuatro lunas de Júpiter, por el contrario, sufren eclipses con más frecuencia (el satélite más interior, Ío, tiene uno cada 42 horas), de modo que Galileo propuso utilizar los satélites de Júpiter para medir el tiempo. El astrónomo Gian Domenico Cassini (1625-1712) exploró

esta idea más a fondo, y en la década de 1670 compiló tablas de los eclipses.

Pero, una vez más, aunque el sistema funcionaba bien en tierra (de hecho se utilizó con éxito para corregir los mapas terrestres), se comprobó que era imposible observar eclipses con el telescopio desde un barco que no para de moverse. Mientras probaban la idea, los observadores notaron que algunos eclipses ocurrían varios minutos más tarde de lo previsto. Percatándose de que la discrepancia era mayor cuando Júpiter estaba más lejos de la Tierra, el filósofo natural danés Ole Roemer (1644-1710) propuso en 1676 la idea de que la luz tiene una velocidad finita (el retraso aparente de un eclipse se debía por tanto al tiempo que tardaba la luz en recorrer la distancia hasta la Tierra); de ese modo hizo posible efectuar una medida aproximada de esa velocidad.

Estos pocos ejemplos demuestran hasta qué punto estaban inextricablemente unidos las aplicaciones tecnológicas y los descubrimientos científicos, impulsándose y potenciándose mutuamente. La idea de una ciencia «pura» frente a una ciencia «aplicada» no se ajusta a la realidad del siglo XVII, si es que se ajusta en algún momento. Minimizar la importancia de las necesidades prácticas –ya sean militares, económicas, industriales, médicas o sociopolíticas– como motor de los avances de la Revolución Científica daría una imagen artificial y errónea de cómo sucedieron realmente las cosas.

Con quien más frecuentemente se asocia la unión entre descubrimiento científico y aplicación práctica quizás sea con sir Francis Bacon (1561-1626). Nacido en una familia acomodada, estudió la carrera de abogado,

fue elegido miembro del Parlamento, obtuvo el título de Lord Verulam y finalmente ocupó el cargo de Lord Canciller de Inglaterra (del que fue destituido por acusaciones de soborno). Bacon vivió la mayor parte de su vida en los pasillos del poder y su pensamiento rara vez anduvo muy alejado de la idea y las ansias de poder. Bacon sostenía que el conocimiento proporcionado por la filosofía natural debía ser «utilizado» con el fin de constituir una promesa de poder para bien de la humanidad y del estado. Caracterizó –o caricaturizó– la filosofía natural de su tiempo como una actividad estéril, sus métodos y metas como errados, y a sus practicantes como gente entretenida con las palabras, pero desentendida de las obras. De hecho, aunque Bacon era escéptico acerca de los fundamentos metafísicos de la magia natural, en cierta ocasión tuvo palabras de alabanza para ella porque «pretende sacar a la filosofía natural de una miscelánea de especulaciones y llevarla a la dimensión de las obras». La filosofía natural debía ser «operativa», no especulativa: debía actuar, construir y conferir poder a los seres humanos. Bacon consideraba que la imprenta, la brújula y la pólvora –avances tecnológicos las tres– habían sido las fuerzas más transformadoras de la historia humana. En consecuencia, abogaba nada menos que por «una reconstrucción total de las ciencias, de las artes y de todo el conocimiento humano».

La metodología era crucial para llevar a cabo esa reforma. Bacon propuso recopilar «historias naturales», vastas colecciones de observaciones de fenómenos acaecidos espontáneamente o como resultado de la experimentación humana (obligando a la naturaleza a apartarse de su curso

normal, dicho con sus propias palabras). Después de reunir material suficiente, los filósofos de la naturaleza se encargarían de ensamblar las piezas para formular principios cada vez más universales mediante un proceso de inducción. La clave era evitar toda teorización prematura, las especulaciones vacías mirándose el ombligo y la construcción de grandiosos sistemas explicativos. Una vez desvelados los principios más generales de la naturaleza, procedía utilizarlos de manera productiva.

A pesar de eso, Bacon no era partidario de un utilitarismo radical. En su opinión, los experimentos son útiles no sólo cuando dan frutos (aplicaciones prácticas), sino también cuando iluminan la mente. El verdadero conocimiento de la naturaleza, decía Bacon, sirve tanto a «la gloria del Creador como al alivio de la condición humana». Aunque Bacon defendía claramente que uno de los objetivos de su empresa era el fortalecimiento y la expansión de Inglaterra (pese a que ni la reina Isabel I ni el rey Jacobo I atendieron sus peticiones de ayuda estatal para sus ideas de reforma), en un nivel superior pensaba que la meta de ese conocimiento operativo era la recuperación del poder y dominio del hombre sobre la naturaleza, otorgados por Dios en el Génesis pero perdidos con la Caída de Adán.

Un aspecto crucial es que Bacon se interesó no sólo por los métodos y los objetivos de la filosofía natural, sino también por su estructura institucional y social. Insistió en que los viejos ideales de la erudición en solitario tenían que dar paso a la actividad cooperativa, comunitaria. De hecho, su programa de recopilación de datos requería un esfuerzo enorme, y aunque él mismo emprendió la elaboración de colecciones de ese tipo, no llegó muy lejos.

Hacia el final de sus días escribió una fábula utópica titulada *La Nueva Atlántida* (1626) en la que formuló su visión de la filosofía natural reformada y de la sociedad mejorada a la que podría dar lugar. La historia describe la isla de Bensalem, un reino pacífico, tolerante, autosuficiente y cristiano en el Pacífico. El estado de felicidad de esta isla se debe no sólo a la sabiduría de su reinado sino más aún a la labor de la Casa de Salomón, una institución de patrocinio estatal para el estudio de la naturaleza, dedicada al «conocimiento de las causas y el movimiento secreto de las cosas; y a la expansión de los límites del Imperio Humano, a la realización de todas las cosas posibles». Los miembros de la Casa de Salomón estudian la naturaleza en comunidad, aunque con división del trabajo y organización jerárquica: los niveles inferiores reúnen material, los niveles medios experimentan y dirigen y los niveles más altos interpretan. En Bensalem, los filósofos de la naturaleza baconianos forman una clase social honrada y privilegiada, apoyada por el gobierno y al servicio del estado y la sociedad. La visión de Bacon sirvió de inspiración a muchos filósofos de la naturaleza del siglo XVII en toda Europa, a medida que fueron negociando su nuevo posicionamiento en el seno de la sociedad.

El auge de las sociedades científicas

En la actualidad, la investigación científica se lleva a cabo en multitud de centros, algunos de los cuales guardan incluso parecido con algunas de las características de la Casa de Salomón. Los científicos trabajan en universidades, en laboratorios estatales, industriales o independientes, en centros en los que existen grandes instrumentos únicos en el mundo (como telescopios o aceleradores de partículas), en trabajos de campo o en estaciones de investigación y puestos de avanzada, en zoológicos, museos y otros lugares. Están unidos en grupos sociales por medio de organizaciones profesionales, sociedades científicas y academias, equipos de investigación, correspondencia y, más recientemente, por Internet. La financiación de la investigación científica proviene de subvenciones oficiales, del presupuesto de investigación y desarrollo de las empresas, de las universidades y de fuentes filantrópicas.

Estas tres características –localización física, espacio social y financiación– son esenciales para el funcionamiento de la ciencia contemporánea. El establecimiento de estas características durante la Revolución Científica fue esencial para construir el mundo de la ciencia que conocemos hoy. A lo largo del siglo XVII, hasta el XVIII, el trabajo de los filósofos de la naturaleza fue adquiriendo un carácter cada vez más formalizado. Los filósofos se unieron en asociaciones privadas, que a su vez se convirtieron con el tiempo en academias de ciencia nacionales. Los intercambios individuales de información por carta se transformaron en revistas impresas. Y a los filósofos naturales aficionados o con sede en una universidad se les sumaron los primeros profesionales asalariados.

En la Baja Edad Media, la investigación en el campo de la filosofía natural se llevaba a cabo principalmente en las universidades, en los centros monásticos y, en mucho menor medida, en algunas cortes reales. Estos cen-

tros tradicionales de actividad conservaron su importancia en los siglos XVI y XVII, pero a su lado surgieron otros. Esencial para el movimiento humanista del Renacimiento fue el establecimiento de círculos de erudición fuera de las universidades, en los que el estudioso compartía su trabajo con otras mentes afines y recibía apoyo, crítica y reconocimiento, así como, en ocasiones, mecenazgo. Estos primeros grupos fueron en su mayoría de carácter literario o filosófico, pero a finales del siglo XVI los filósofos de la naturaleza habían dado ya un mayor desarrollo al modelo, que desembocó en la creación de sociedades científicas. Las primeras se crearon en Italia, donde se fundaron decenas de ellas en el siglo XVII, más que en ningún otro lugar de Europa. La mayoría, sin embargo, siguieron siendo de ámbito local y tuvieron por lo general una vida efímera.

Una de las primeras sociedades fue la Accademia dei Lincei ('Academia de los Linces'). Su nombre alude al carácter emblemático del lince, animal de aguda visión y percepción. La Academia fue fundada en Roma en 1603 por el príncipe Federico Cesi –aristócrata romano de 18 años de edad– junto con tres compañeros suyos, y funcionó durante unos treinta años. Cesi fundó su academia convencido de que la investigación de la naturaleza era un asunto complejo y laborioso que requería de un esfuerzo colectivo. Los Lincei nunca fueron más de un puñado, pero entre ellos figuraron el abogado de la magia natural Giambattista della Porta, Galileo, Niels Stensen y Johann Schreck, posteriormente misionero jesuita que llevó el conocimiento científico europeo a China. Los Lincei acometieron proyectos en todas las ramas de la

filosofía natural, a menudo de forma independiente pero otras veces en colaboración, como ocurrió por ejemplo con la publicación a largo plazo del *Tesoro de las cosas medicales de la Nueva España* (1651) a partir de los manuscritos de la expedición de Francisco Hernández a México, llevados a Italia desde España. Los Lincei adoptaron los nuevos enfoques químicos de la medicina, promovieron el trabajo de Galileo (sus *Cartas sobre las manchas solares* de 1613 y *El ensayador* de 1623 se publicaron bajo los auspicios de los Lincei) y realizaron estudios microscópicos. La muerte prematura de Cesi en 1630 privó a los Lincei de su líder y patrón y precipitó el colapso de la Academia.

En 1657 se fundó la Accademia del Cimento en la corte de los Médici en Florencia, gracias en gran parte al interés personal del príncipe Leopoldo de Médici en la filosofía natural. Su lema *Provando e reprovando* ('Probando y volviendo a probar') resume su filosofía, centrada en la experimentación. La corte de los Médici proporcionaba un centro para los estudios colectivos (algo que les había faltado a los Lincei), mientras que el patrocinio de los Médici garantizaba el funcionamiento financiero. Muchos de sus miembros fueron seguidores de Galileo, y el grupo continuó varios de sus proyectos y métodos de investigación. Los miembros de esta academia florentina trabajaron en numerosas disciplinas, desde la anatomía y las ciencias de la vida hasta la matemática y la astronomía, y prestaron especial atención a los estudios y la mejora de nuevos instrumentos como el barómetro y el termómetro, en los cuales participó Leopoldo mismo. La labor de Redi, Malpighi, Borelli y otros muchos notables

filósofos naturales italianos se llevó a cabo dentro del Cimento. Las disensiones entre sus miembros, el abandono de varios de sus lumbreras y el nombramiento de Leopoldo como cardenal, con la obligación de pasar más tiempo en Roma, llevaron a la clausura de la Academia en 1667. En sus diez años de existencia, el Cimento fue el ejemplo más visible de una asociación voluntaria de filósofos naturales dedicados colectivamente a la investigación experimental de la naturaleza.

A mediados de siglo, las sociedades científicas se habían extendido ya al norte de los Alpes. En 1652, cuatro médicos fundaron en Alemania la Academia Naturae Curiosorum. Durante sus primeros años, esta 'Academia de Curiosos de la Naturaleza' se centró principalmente en temas médicos y químicos. Los estatutos de la Academia, publicados en 1662, declaraban como objetivos «la gloria de Dios, la iluminación del arte de curar y el beneficio resultante de ella para nuestros semejantes». La Academia creció rápidamente, y aunque sus miembros vivían dispersos por todas los países de habla alemana y no podían por tanto reunirse regularmente de forma corporativa, sirvió para crear una unión virtual entre ellos, especialmente a través de la publicación anual (a partir de 1672) de un volumen de ponencias y documentos presentados por los miembros. En 1677, el emperador del Sacro Imperio Romano Leopoldo I le otorgó reconocimiento oficial. En años subsiguientes, esta fundación del siglo XVII se expandió mucho más allá de las ciencias médicas y de la vida, para convertirse finalmente en la actual Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina ('Academia Nacional de las Ciencias Leopoldina').

En la década de 1650-1659, un grupo conocido simplemente como el «Club de Filosofía Experimental», comenzó a reunirse en el Wadham College de la Universidad de Oxford para discutir de filosofía natural, experimentar con dispositivos mecánicos y observar disecciones y demostraciones. Christopher Wren y Robert Hooke fueron dos de sus primeros miembros, a los cuales se sumaron Robert Boyle y otros destacados personajes de la Inglaterra de mediados de siglo.

Tras la restauración de Carlos II en 1660, varios miembros de este club se unieron con otros para elaborar los estatutos de una organización más formal; la cédula real se firmó en 1662 con el nombre de Royal Society of London for Improving Natural Knowledge ('Real Sociedad de Londres para Mejorar el Conocimiento Natural'). Esta sociedad, que sigue existiendo en la actualidad, constituye una nueva etapa en la evolución de las sociedades científicas. Al igual que en la Accademia del Cimento (con la que mantenía correspondencia), la realización colectiva de experimentos era un elemento central. Pero la Royal Society estaba concebida como una organización mucho más grande y más formalizada. En poco tiempo contó con más de 200 miembros, aunque la mayoría de las elecciones hechas entre la aristocracia inglesa respondían no tanto a expectativas sobre su contribución intelectual como a ilusiones sobre su aportación económica. Tomando explícitamente como modelo a Bacon y sus preceptos, la Sociedad se fijó objetivos públicos y sociales, y de hecho puede considerarse como un intento de llevar a la práctica la Casa de Salomón. Muchos de sus primeros miembros habían participado en planes educativos y empresaria-

les utópicos durante los años de la guerra civil y llevaron consigo esos objetivos a la Sociedad. Su deseo era evitar estrictamente toda ligadura sectaria y política, con la esperanza de encontrar en la filosofía natural la base de concordia que permitiese superar la división en facciones vivida en los años inmediatamente anteriores de guerra civil.

Los miembros se reunían regularmente en el Gresham College de Londres para realizar experimentos y presentar nuevos resultados y observaciones. Prácticamente todos los filósofos naturales británicos notables de la época fueron miembros de la Royal Society (igual que hasta el presente). Tampoco pasó mucho tiempo antes de que hubiera miembros procedentes de fuera de las fronteras británicas, y el ingreso en la Royal Society suponía (y sigue suponiendo) un prestigio considerable. La innovación más importante relacionada con sus primeros años fue quizás la creación en 1665 de las *Philosophical Transactions* (la primera revista científica) por su secretario, Henry Oldenburg. Creadas inicialmente como proyecto particular de Oldenburg (vana fue su esperanza de ganarse la vida con las suscripciones), las *Transactions* quedaron enseguida conceptualmente unidas a la Royal Society, aunque formalmente sólo lo estuvieron más tarde. Oldenburg mantenía una intensa correspondencia (como resultado de la cual fue encarcelado una vez en la Torre de Londres acusado de espía) y por lo tanto podía informar sobre la actualidad científica de toda Europa. Las *Philosophical Transactions* publicaban no sólo las actividades de la Royal Society, sino también informes y cartas científicas del extranjero, así como reseñas de libros. A pesar de que la publicación era principalmente en inglés,

se convirtió en un órgano fundamental para la vida científica europea: un lugar para publicar observaciones, anunciar hallazgos, establecer prioridades y entablar discusiones. Los trabajos de Newton sobre la luz, la óptica y su nuevo telescopio se publicaron allí, al igual que las observaciones de Van Leeuwenhoek sobre el microscopio enviadas por correo desde Holanda o los estudios anatómicos de Malpighi enviados desde Italia. Las discusiones sobre los cometas se disputaban un sitio con los informes sobre nacimientos de monstruos, y había problemas cada vez que Boyle tenía algo relativamente breve sobre lo que informar.

A pesar de sus ambiciones, la Royal Society padeció los problemas comunes a las primeras sociedades científicas: la pérdida de miembros clave, dificultades económicas y falta de patrocinio. Muchos de sus grandes proyectos quedaron en nada por alguno de esos motivos. La mayoría de los miembros estaban inactivos y no pagaban la cuota sino de forma esporádica o no la pagaban, y el único obsequio que hizo la Corona a la Royal Society fue el adjetivo *Royal* ('Real'). El proyecto baconiano para la mejora del comercio fracasó por la comprensible renuencia de los comerciantes a compartir su experiencia. La respuesta inglesa desde fuera de los círculos de la filosofía natural tampoco fue mejor: la Sociedad, sus miembros y sus actividades fueron objeto de sátira teatral en la obra *Virtuoso* de Thomas Shadwell (1676), y sus pretensiones de utilidad pública fueron blanco de acres parodias en el «Viaje a Laputa» de *Los viajes de Gulliver* de Jonathan Swift (1726).

La muerte de Oldenburg en 1677 hizo que las *Philosophical Transactions* se dejasen de publicar durante un

tiempo, y el fallecimiento de Boyle en 1691 significó la pérdida del miembro más activo y generoso de la Sociedad. Newton, miembro desde 1672, fue nombrado presidente en 1703, en una época en la que ya era reconocido como el más eminente filósofo natural de Inglaterra. El prestigio que le rodeaba insufló nueva vida a la organización, pero su tendencia a favorecer todo trabajo que promoviese el suyo propio redujo la amplitud que habían tenido hasta entonces las actividades de la Sociedad. Con todo, la Royal Society estaba ya firmemente arraigada a mediados del siglo XVIII y ha continuado con vida desde entonces.

A diferencia de la Royal Society, creada de abajo arriba, la parisina Académie Royale des Sciences se fundó de arriba abajo, según idea original de Jean-Baptiste Colbert (1618-1683), ministro de finanzas de Luis XIV. La intención de Colbert era doble: añadir gloria al Rey Sol como mecenas de las artes y las ciencias y centralizar la actividad científica de forma útil para el estado como parte de una centralización más amplia de Francia que caracterizó el largo reinado de Luís XIV. La Académie celebró su primera reunión en 1666, con veinte académicos encabezados por Christiaan Huygens, que había sido reclutado en Holanda. Los académicos se reunían dos veces por semana en la biblioteca del rey, debían trabajar en grupo (cosa que no siempre funcionó sin problemas) y recibían un sueldo y apoyo a la investigación, lo que es lo mismo que decir que los franceses comprendieron la visión de Bacon mucho mejor que sus propios compatriotas. A cambio de la financiación real, los académicos tenían que buscar soluciones científicas a los problemas del estado. No es casualidad que los dos miembros mejor pagados –Huygens y Cassini– fueran a Francia mientras estaban trabajando en el problema crucial de la longitud.

Los miembros de la Académie se encargaron, entre otras cosas, de verificar la calidad del agua en Versalles y en toda Francia, evaluar nuevos proyectos e invenciones, examinar libros y patentes, resolver problemas técnicos en la imprenta real y en otras imprentas y elaborar el primer estudio topográfico preciso de Francia. Se dice que esta última empresa, al hallar que Francia era más pequeña de lo que se pensaba hasta entonces, llevó a Luis XIV a decir en broma que sus académicos habían logrado lo que no habían conseguido todos sus enemigos: disminuir el tamaño de su reino. A pesar de su trabajo al servicio del estado, los académicos disponían de tiempo en abundancia para otros estudios, en particular algunos grandes proyectos colectivos seleccionados por ellos mismos, como por ejemplo historias naturales exhaustivas de las plantas y los animales (Figura 17).

El patrocinio real también proporcionaba a los académicos espacios de trabajo: un laboratorio de química, un jardín botánico y un observatorio astronómico en lo que antes eran las afueras de París. Terminado en 1672, el Observatorio de París estaba pensado en un principio para albergar la Académie en su totalidad, pero se convirtió en dominio exclusivo de los astrónomos. El astrónomo Gian Domenico Cassini, tentado con la promesa de un ingente estipendio y la dirección del nuevo observatorio para que abandonara el servicio del Papa y se fuese a París, se instaló allí antes incluso de que el edificio estuviese terminado.

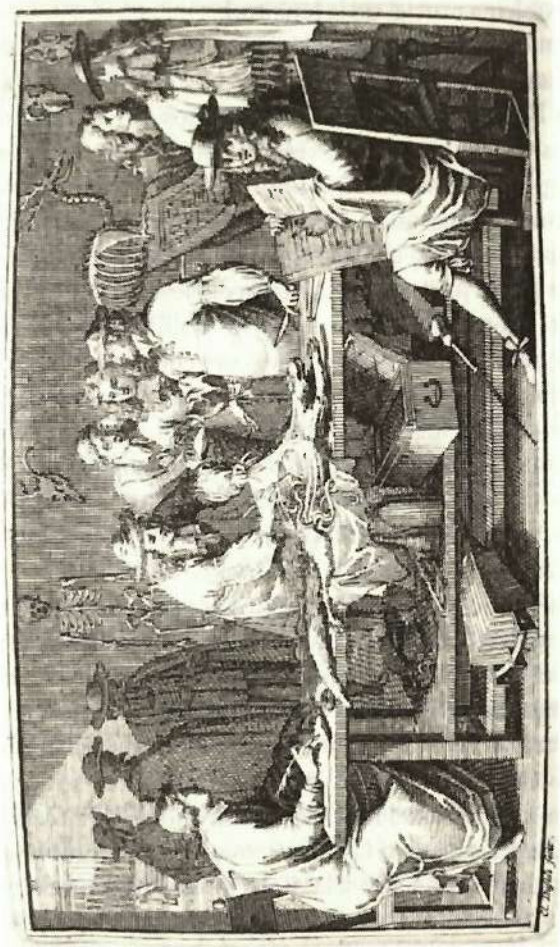


Figura 17. Disección realizada por miembros de la Académie Royale des Sciences de París. El secretario (Jean-Baptiste Duhamel) registra las observaciones, mientras los académicos las discuten en grupos; a través de la ventana se ve el jardín du Roi. *Mémoires pour servir à l'histoire des animaux*, La Haya, 1731; publicado originalmente en París en 1671.

Él, y tres generaciones de Cassinis después de él, hicieron del observatorio la primera institución astronómica de Europa. Su eje central norte-sur marcaba el primer meridiano de la Tierra, desde el cual se midió por lo general la longitud durante dos siglos, hasta que la primacía pasó en 1884 a la línea que pasa por Greenwich. (El Real Observatorio de Greenwich se fundó en 1675, poco después del de París, con la misión específica de «hallar la longitud de los lugares para el perfeccionamiento de la navegación y la astronomía»). La financiación de la familia real también permitió a la Academia de París enviar expediciones científicas al extranjero: a Guyana, Nueva Escocia y Dinamarca para realizar observaciones astronómicas; a Grecia y el Levante para la recogida de especímenes botánicos; y las más famosas, en el siglo XVIII, a América del Sur y Laponia, para hacer observaciones y mediciones y poder verificar las predicciones cartesianas y newtonianas relativas a la forma exacta de la Tierra. La Academia reunió y publicó asimismo las observaciones enviadas por los jesuitas desde Siam, China y otros lugares, y mantuvo un intenso intercambio epistolar con los miembros de la Royal Society (incluso estando Francia en guerra con Inglaterra) y con otros sabios de toda Europa.

Agrupaciones científicas distintas de las academias

Las academias científicas proliferaron a partir de 1700: se fundaron academias en Bolonia, Uppsala, Berlín, San Petersburgo, en centros provinciales franceses e incluso

en Filadelfia, en las colonias de América del Norte, convirtiéndose en símbolos de orgullo nacional y de progreso. Pero estas instituciones fueron sólo una de las expresiones del mundo científico que se estaba creando. Al lado de las academias fueron apareciendo otros grupos sociales más informales pero a veces no menos importantes. En París, la Académie Royale coexistía con los «salones filosóficos» que se organizaban en casas particulares o en lugares públicos, donde los interesados se reunían para discutir, conversar y debatir bajo la dirección de un organizador. Su aparición da fe de hasta qué punto la evolución de la filosofía natural había captado la atención del público y se estaba convirtiendo en un fenómeno social. En Londres, los nuevos cafés que abrieron sus puertas a finales del siglo XVII proporcionaron locales en los que personas muy diversas se reunían y debatían sobre temas muy variados, entre ellos la filosofía natural. El interés público impulsó la aparición a principios del siglo XVIII de la figura del demostrador público, personaje mitad filósofo natural mitad *showman*, que proporcionaba entretenimiento e instrucción en las reuniones públicas (a cambio de una cuota de admisión) con aparatos exóticos y exhibiciones espectaculares.

Menos visibles que las academias pero igual de importantes para la historia de la ciencia fueron las redes de correspondencia epistolar que mantenían unidos a los interesados dentro de una malla de comunicación. Los filósofos de la naturaleza intercambiaban entre sí, en privado, cartas, manuscritos y libros recién salidos de la imprenta. La intimidad de la epístola permitía airear ideas impopulares y radicalmente nuevas, creando un debate

en su mayor parte invisible que se mantuvo en toda Europa a lo largo del siglo XVII. Esta invisible «República de las letras» (una frase humanista del Renacimiento) unió a pensadores de mentalidad afín por encima de las fronteras nacionales, lingüísticas y religiosas y salvando las distancia entre ellos.

La construcción de esas redes de correspondencia se vio potenciada por la actividad de varias personas que cabría llamar «informadores». Eran quienes recibían la correspondencia, organizaban y compilaban la información, la distribuían entre los interesados y hacían por carta las indagaciones complementarias oportunas. El volumen de correspondencia de un informador podía llegar a ser impresionante. Nicolas-Claude Fabri de Peiresc (1580-1637), que apoyó a Gassendi y difundió las ideas de Galileo en Francia, tenía alrededor de quinientos corresponsales y dejó a su muerte más de diez mil cartas. Uno de sus corresponsales, el fraile mínimo Marin Mersenne (1588-1648), era otro de los centros de comunicación. Desde su celda monástica de París despachaba la correspondencia y difundía la obra de Descartes, Galileo y otros a través de una red que cubría toda Europa. La correspondencia mantenida en Inglaterra por Samuel Hartlib (*c.* 1600-1662), refugiado prusiano de la Guerra de los Treinta Años, sirvió de unión a toda la Europa protestante y América del Norte; las dos mil cartas suyas que se conservan no son más que una pequeña parte de lo que escribió. Hartlib estaba animado por ideas utópicas y utilitarias para la reforma de la educación, la agricultura y la industria al modo baconiano, pero también por creencias religiosas, en particular es-

peranzas milenaristas de crear en Inglaterra un «paraíso en la Tierra» protestante. A su círculo pertenecían empresarios, moralistas, filósofos naturales, teólogos e ingenieros, y sus proyectos iban desde la apertura de escuelas técnicas hasta la mejora de la elaboración de la cerveza. Las academias propiamente dichas se convirtieron en nodos de estas redes epistolares, y las revistas científicas –*Philosophical Transactions, Journal des Sçavans,* así como sus descendientes contemporáneos– se pueden considerar versiones formalizadas de aquéllas, cristalizadas en forma impresa.

Gracias a la creación de las academias científicas y la creciente importancia de las aplicaciones tecnológicas en el siglo XVII, los siglos subsiguientes vieron una profesionalización progresiva del trabajo científico y la lenta desaparición del filósofo natural «aficionado». La creciente demanda de personas entendidas y de confianza que supiesen aplicar los conocimientos y métodos científicos a problemas prácticos condujo a la organización de una formación más reglada y rigurosa en las universidades, lo que a su vez condujo a una mayor normalización de las ideas y enfoques. El efecto acumulado de todo ello fue el surgimiento en el siglo XIX de la «ciencia» como carrera, de los «científicos» como clase social y profesional aparte (parecida en algunos aspectos a lo que Bacon describió en la *Nueva Atlántida)* y la remodelación gradual del mundo moderno para convertirse en el mundo contemporáneo de la ciencia y la tecnología. La transformación fue un proceso lento y complejo cuyo relato no tiene cabida en este libro. Las vueltas y marchas atrás que dieron los personajes históricos en el camino, las ideas y necesi-

dades que influyeron en sus decisiones y los acontecimientos que habilitaron o inhabilitaron sus intenciones no eran obvios ni estaban predeterminados. Si bien las realidades del mundo natural no serían diferentes, las maneras de expresarlas, conceptualizarlas e implementarlas los seres humanos sí podrían muy bien serlo.

La senda histórica concreta que hemos elegido nos ha llevado a un mundo de ciencia y tecnología lleno de maravillas que asombraría a los más grandes defensores de la *magia naturalis,* pero es un mundo no exento de problemas: los aún no resueltos y los que nosotros mismos hemos creado. En medio de nuestro envidiable almacén de conocimientos de la naturaleza, el sabio, pacífico y ordenado Bensalem sigue siéndonos esquivo, pero sin dejar nunca de servir de inspiración.

Epílogo

Prácticamente todos y cada uno de los textos y objetos de los filósofos naturales modernos que han llegado hasta nosotros nos muestran su fervor por explorar, inventar, preservar, medir, recopilar, organizar y aprender. Sus innumerables teorías, explicaciones y sistemas del mundo, pugnando entre sí por el reconocimiento y la aceptación, tuvieron destinos dispares. Muchos conceptos y descubrimientos de la Edad Moderna –el heliocentrismo de Copérnico, la circulación sanguínea de Harvey, la ley de la gravitación o ley de la inversa del cuadrado de Newton– constituyen los fundamentos de nuestra comprensión actual del mundo. Otras ideas, como las nociones del atomismo y la estimación del tamaño del universo, fueron progresivamente actualizadas y refinadas por los trabajos científicos que vinieron más tarde, y algunas, como los vórtices de Descartes o la explicación mecánica de la atracción magnética, quedaron descartadas por completo.

La ciencia contemporánea continúa ocupándose de muchas de las preguntas y objetivos de los filósofos naturales de la Edad Moderna, algunos de ellos heredados a su vez de la Edad Media o incluso de la Antigüedad. Al igual que Gassendi, Descartes y Van Helmont, los físicos contemporáneos continúan buscando las partículas últimas de la materia, para entender cómo están unidos e interaccionan esos trocitos invisibles del universo para formar el mundo. Al igual que Kepler, Cassini y Riccioli, los astrónomos contemporáneos continúan escrutando y estudiando los cielos y encuentran nuevos objetos y fenómenos utilizando instrumentos mucho más diversos y potentes que los cuadrantes y telescopios de Tycho Brahe, Galileo y Hevelius. Los exploradores de la Nueva España como Hernández y Da Costa tienen sus herederos en los científicos que actualmente siguen buscando nuevos medicamentos en las plantas y animales de la selva o del desierto, o nuevas formas de vida en las oscuras fosas oceánicas o incluso en mundos distantes. Al igual que sus antepasados adeptos al paracelsismo y a la crisopeya, los químicos contemporáneos se esfuerzan por modificar y mejorar las sustancias naturales y crear nuevos materiales, dando continuidad al sueño de Boyle de entender los cambios de la materia y al de Bacon de ofrecer cosas útiles para la vida humana. Como Vesalio, Malpighi y Leeuwenhoek, los biólogos y médicos contemporáneos exploran los cuerpos animales y humanos con nuevos instrumentos y descubren estructuras cada vez más finas y mecanismos cada vez más asombrosos. Cada nuevo artilugio electrónico que aparece en el mercado reaviva los vínculos de la tecnología con lo mágico y lo maravilloso.

Junto a estos vínculos de continuidad hay también mucho que ha cambiado. El incentivo profundamente religioso y devocional que servía de motivación a los filósofos naturales modernos para estudiar el Libro de la Naturaleza –encontrar al Creador reflejado en la Creación– no constituye ya un motor significativo para la investigación científica. La permanente conciencia de la historia, la conciencia de formar parte de una larga tradición acumulativa de investigadores de la naturaleza, se ha perdido en gran parte. Pocos científicos harían hoy lo mismo que Kepler cuando puso «un suplemento a Aristóteles» como subtítulo de su libro de texto copernicano, ni buscarían respuestas en textos antiguos, como hizo Newton para hallar la causa de la gravedad.

La visión de un cosmos fuertemente conectado se ha fracturado con el abandono de las preguntas en torno al sentido y al propósito, con la adopción de perspectivas y objetivos más estrechos y con la preferencia por una literalidad que no se presta a la comprensión de las analogías y metáforas que eran fundamentales en el pensamiento moderno. El filósofo de la naturaleza, con su amplitud de pensamiento, de actividad, de experiencia y de conocimientos, ha sido sustituido por el científico profesional, especializado y técnico. El resultado es un dominio científico desligado de las visiones más amplias de la cultura y la existencia humana. Es imposible no considerarnos más pobres por la pérdida de esa amplia visión de la Edad Moderna, aunque también es obligado reconocer que el desarrollo científico y tecnológico actual nos ha enriquecido con un nivel asombroso de riqueza material e intelectual.

La Revolución Científica fue un periodo de continuidad y de cambio, de tradición y de innovación. Los practicantes de la filosofía natural moderna provenían de todas las partes de Europa, de todas las confesiones religiosas, de todas las extracciones sociales, y entre ellos estaba desde el innovador provocativo hasta el cauteloso tradicionalista. Juntos, todos estos personajes tan dispares contribuyeron a la creación de los corpus de conocimientos, las instituciones y las metodologías que sirvieron de fundamento para el actual mundo de la ciencia, un mundo que afecta a todos los seres humanos. A las gentes de aquellos tiempos les podríamos contar muchas cosas que estarían locas por saber, y tal vez ellos, a su vez, nos podrían contar otras que nos encantaría escuchar. Su época nos parece a la vez familiar y extraña, parecida a la nuestra y al mismo tiempo sorprendentemente diferente. La propia complejidad y exuberancia de la Edad Moderna hace que sea la época más fascinante e importante en toda la historia de la ciencia.

Referencias

1. Nuevos y viejos mundos

Edward Grant, *The Foundations of Modern Science in the Middle Ages* (Cambridge: Cambridge University Press, 1996), p. 174.

2. El mundo conexo

Giambattista della Porta, *Natural Magick* (Londres, 1658; reimp. Nueva York: Basic Books, 1957), pp. 1-4.

3. El mundo supralunar

Nicholas Copernicus, *De revolutionibus* (Nüremberg, 1543), carta de Schönberg, fol. ii*r*; Dios como artesano, fol. iii*v*; «prefacio» de Osiander, fols. iv-iir (traducción al inglés del autor). Traducción completa al inglés: Copernicus, *On the Revolutions*, tr. Edward Rosen (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1992). [Hay trad. castellana: *Sobre las revoluciones de las orbes celestes*, Editorial Tecnos, 2009, tr. Carlos Mínguez].

J. E. McGuire y P. M. Rattansi, «Newton and the "Pipes of Pan"», *Notes and Records of the Royal Society*, 21 (1966): 108-143, p. 126.

4. El mundo sublunar

Athanasius Kircher, *Mundus subterraneus* (Ámsterdam, 1665), «prefacio».
Galileo Galilei, *Il Saggiatore [The Assayer]*, en *The Controversy on the Comets of 1618* (Filadelfia: University of Pennsylvania Press, 1960), pp. 183-184.

6. La construcción de un mundo de ciencia

The Works of Francis Bacon, James Spedding, Robert L. Ellis y Douglas D. Heath (eds.),14 vols. (Londres: 1857-1874), 4: 8, 3: 294, 3: 164.

Lecturas suplementarias

Existen buenos libros en los que se estudia la Revolución Científica con más detalle del que es posible aquí. Entre ellos están los siguientes: Peter Dear, *Revolutionizing the Sciences: European Knowledge and Its Ambitions, 1500-1700*, 2.ª ed. (Princeton: Princeton University Press, 2009); John Henry, *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science*, 2.ª ed. (Basingstoke: Palgrave, 2002) y Margaret J. Osler, *Reconfiguring the World: Nature, God, and Human Understanding from the Middle Ages to Early Modern Europe* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2010). Este último sobresale especialmente por proporcionar detalles técnicos de las ideas científicas modernas. Una fuente de referencia útil es la *Encyclopedia of the Scientific Revolution* de Wilbur Applebaum (Nueva York: Garland, 2000), llena de artículos breves y autorizados sobre cientos de temas.

1. Nuevos y viejos mundos

Sobre los antecedentes medievales (y antiguos), véase David C. Lindberg, *The Beginnings of Western Science*, 2.ª ed. (Chicago: University of Chicago Press, 2007); y J. R. S. Phillips, *The Medie-*

val Expansion of Europe, 2.ª ed. (Oxford: Clarendon Press, 1998), proporciona un fascinante relato de los viajes medievales. Sobre los humanismos renacentistas, véase Anthony Grafton, April Shelford y Nancy Siraisi, *New Worlds, Ancient Texts: The Power of Tradition and the Shock of Discovery* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1992) y Jill Kraye (ed.), *Cambridge Companion to Renaissance Humanism* (Cambridge: Cambridge University Press, 1999). Sobre otros temas de este capítulo, véase Elizabeth Eisenstein, *The Printing Press as an Agent of Change* (Cambridge: Cambridge University Press, 1979); Peter Marshall, *The Reformation: A Very Short Introduction* (Oxford: Oxford University Press, 2009), y Anthony Pagden, *European Encounters with the New World from the Renaissance to Romanticism* (New Haven: Yale University Press, 1993).

2. El mundo conexo

Sobre la magia natural y su lugar en la historia de la ciencia, véase John Henry, «The Fragmentation of Renaissance Occultism and the Decline of Magic», *History of Science*, 46 (2008): 1-48. Sobre el trasfondo de la concepción del mundo conexo, véase Brian Copenhaver «Natural Magic, Hermetism, and Occultism in Early Modern Science», pp. 261-301, en David C. Lindberg y Robert S. Westman (eds.), *Reappraisals of the Scientific Revolution* (Cambridge: Cambridge University Press, 1990). D. P. Walker, *Spiritual and Demonic Magic: Ficino to Campanella* (University Park, PA: Pennsylvania State University Press, 1995), ofrece una descripción de distintas clases de *magia*. Los ensayos contenidos en Ronald Numbers (comp.), *Galileo Goes to Jail and Other Myths about Science and Religion* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 2009), son de lectura muy amena y sirven para corregir algunos prejuicios muy comunes en nuestra época sobre el papel de la religión en la ciencia. Un tratamiento más a fondo es el de David C. Lindberg y Ronald L. Numbers (comp.), *God and Nature: Historical Essays on the Encounter Between Christianity and Science* (Berkeley, CA: University of California Press, 1989).

3. El mundo supralunar

Sobre los principales personajes mencionados en este capítulo, véase Victor E. Thoren, *The Lord of Uraniborg: A Biography of Tycho Brahe* (Cambridge: Cambridge University Press, 1990); Maurice Finocchiaro (comp.), *The Essential Galileo* (Indianapolis, IN: Hackett, 2008); John Cottingham (ed.), *Cambridge Companion to Descartes* (Cambridge: Cambridge University Press, 1992); Richard S. Westfall, *The Life of Isaac Newton* (Cambridge: Cambridge University Press, 1994) [hay trad. castellana: *Isaac Newton: una vida*, Akal, 2006]. La mejor panorámica de la actual interpretación del episodio de «Galileo y la Iglesia» es la introducción a Finocchiaro, *The Galileo Affair* (Berkeley, CA: University of California Press, 1989). Sobre astrología, véase Anthony Grafton, *Cardano's Cosmos: The World and Works of a Renaissance Astrologer* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1999). Para comprender mejor los modelos y teorías astronómicos, véase Michael J. Crowe, *Theories of the World: From Antiquity to the Copernican Revolution*, 2.ª ed. (Nueva York: Dover, 2001), y visítese «Ancient Planetary Model Animations» en http://people.sc.fsu.edu/~dduke/models.htm, creado por el profesor David Duke en la Florida State University; esta página contiene espléndidas animaciones de varios sistemas planetarios.

4. El mundo sublunar

Sobre Galileo y el movimiento, véanse las sugerencias del capítulo 3. Sobre otras grandes figuras mencionadas, véanse Alan Cutler, *The Seashell on Mountaintop* (Nueva York: Penguin, 2003) (sobre Steno); Paula Findlen (comp.), *Athanasius Kircher: The Last Man Who Knew Everything* (Nueva York: Routledge, 2004) y Michael Hunter, *Robert Boyle: Between God and Science* (New Haven: Yale University Press, 2009). Sobre la alquimia y su importancia, véase Lawrence M. Principe, *The Secrets of Alchemy* (Chicago: Chicago University Press, 2011) y William R. Newman, *Atoms and Alchemy: Chymistry and the Experimental Origins of the Scientific Revolution* (Chicago: Chicago University Press, 2006). El lector encontrará una útil panorámica general (aunque ya algo anticuada) de la filosofía mecanicista en las secciones

pertinentes de Richard S. Westfall, *The Construction of Modern Science: Mechanisms and Mechanics* (Cambridge: Cambridge University Press, 1971).

5. El microcosmos y el mundo de los seres vivos

Nancy G. Siraisi, *Medieval and Early Renaissance Medicine* (Chicago: University of Chicago Press, 1990); y Roger French, *William Harvey's Natural Philosophy* (Cambridge: Cambridge University Press, 1994). Sobre la historia natural, véanse William B. Ashworth, «Natural History and the Emblematic Worldview», en David C. Lindberg y Robert S. Westman (comps.), *Reappraisals of the Scientific Revolution* (Cambridge: Cambridge University Press, 1990), pp. 303-32 y Nicholas Jardine, James A. Secord y Emma C. Spary (comps.), *The Cultures of Natural History* (Cambridge: Cambridge University Press, 1995). Sobre el papel de los españoles, véanse María M. Portuondo, *Secret Science: Spanish Cosmography and the New World* (Chicago: University of Chicago Press, 2009) y Miguel de Asúa y Roger French, *A New World of Animals: Early Modern Europeans on the Creatures of Iberian America* (Burlington, VT: Ashgate, 2005).

6. La construcción de un mundo de ciencia

Pamela O. Long, *Technology, Society, and Culture in Late Medieval and Renaissance Europe, 1300-1600* (Washington, DC: American Historical Association, 2000); Paolo Rossi, *Philosophy, Technology, and the Arts in Early Modern Europe* (Nueva York: Harper and Row, 1970); Markku Peltonen (comp.), *Cambridge Companion to Bacon* (Cambridge: Cambridge University Press, 1996); Lisa Jardine, *Ingenious Pursuits: Building the Scientific Revolution* (Nueva York: Anchor Books, 2000); Marco Beretta, Antonio Clericuzio y Lawrence M. Príncipe (comps.), *The Accademia del Cimento and its European Context* (Sagamore Beach, MA: Science History Publications, 2009); Alice Stroup, *A Company of Scientists: Botany, Patronage, and Community at the Seventeenth-Century Parisian Royal Academy of Sciences* (Berkeley, CA: University of California Press, 1990).

Lista de ilustraciones

Figura 1. El mundo conexo
Por cortesía de la Division of Rare and Manuscript Collections, Cornell University Library

Figura 2. El universo de Aristóteles

Figura 3. La excéntrica de Ptolomeo

Figura 4. Los epiciclos y deferentes de Ptolomeo

Figura 5. Modelo planetario de coronas esféricas de Ibn al-Haytham
Por cortesía de la Johns Hopkins University, The Sheridan Libraries, Rare Books and Manuscripts Department

Figura 6. Explicación copernicana del movimiento retrógrado

Figura 7. Tres sistemas del mundo, comparados de forma emblemática
Por cortesía de la Division of Rare and Manuscript Collections, Cornell University Library

Figura 8. Visión de Kircher del interior de la Tierra
Por cortesía de la Roy G. Neville Historical Chemical Library, Chemical Heritage Foundation, Filadelfia

Figura 9. Barómetro de agua de Berti y barómetro de mercurio de Torricelli
Por cortesía de la Roy G. Neville Historical Chemical Library, Chemical Heritage Foundation, Filadelfia

Figura 10. Esfera de Magdeburgo de Von Guericke
Por cortesía de la Roy G. Neville Historical Chemical Library, Chemical Heritage Foundation, Filadelfia

Figura 11. Bomba de aire de Boyle y Hooke
Por cortesía de la Roy G. Neville Historical Chemical Library, Chemical Heritage Foundation, Filadelfia

Figura 12. Alegoría alquímica de la purificación
Por cortesía de la Roy G. Neville Historical Chemical Library, Chemical Heritage Foundation, Filadelfia

Figura 13. Cuadrado de los elementos y humores

Figura 14. Órganos corporales y correspondencias zodiacales
Cortesía de la Roy G. Neville Historical Chemical Library, Chemical Heritage Foundation, Filadelfia

Figura 15. Gabinete de curiosidades de Worm
Por cortesía de la Roy G. Neville Historical Chemical Library, Chemical Heritage Foundation, Filadelfia

Figura 16. Transporte del obelisco del Vaticano
Por cortesía de la Johns Hopkins University, The Sheridan Libraries, Rare Books and Manuscripts Department

Figura 17. Disección en la Real Academia de Ciencias de París
Colección del autor

Índice temático

academias, 189-190, 192
  Academia de los Secretos (Nápoles), 55
  Academia Nacional de las Ciencias Leopoldina, 182
  Academia Naturae Curiosorum, 182
  Academia Platónica (Florencia), 24
  Académie Royale des Sciences, 147, 186-190
  Accademia dei Lincei (Roma), 55, 83, 180-181
  Accademia del Cimento (Florencia), 181-182
acción a distancia, 53, 131, 135
Acosta, José de, 162
Acquapendente, Girolamo Fabrizio d', 148-149
Adán, Caída de, 160, 177
Agricola, Georgius, 171
agua, 12, 54, 107, 141, 157, 173, 187
  elemento primigenio, 64, 102, 156
  ingeniería, 113-117, 167
  microcosmos, 38, 150, 152
Agustín, San, 103
  los «Dos Libros», 61, 88
agustinos, 34
aire, 11, 53, 77, 111, 125, 131, 148, 153, 156
  elemento primigenio, 64, 102
  experimentos, 114, 116-120
aither (éter), *véase* quintaesencia
Alberto Magno, San, 20
Alchemist (Ben Jonson), 127
Aldrovandi, Ulisse, 165
Alemania, 11, 32, 35, 127-128, 171, 182
Alhacén, *véase* Ibn al-Haytham
alma,
  de la Tierra, 108
  del macrocosmos, 54
  en los seres vivos, 151, 154
  humana, 41, 124-125, 130, 154-155
almanaques, *véase* calendarios
alquimia, 19, 120-123, 125; *véase también* crisopeya

América, 11, 37, 161-162, 189-191
descubrimiento, 32-33
analogías, 52, 54, 88, 108, 145
anatomía, 29, 104, 138, 145-149, 152, 181, 185
anfiteatros anatómicos, 68
anima motrix, 89, 98
antimonio, 145
árabe, cultura, 18-20, 26, 30, 124, 139
astronomía, 19, 42, 70, 72
archeus, 157
Aristarco de Samos, 78
Aristóteles, 20, 53, 68, 70, 97, 109, 126, 129, 136, 149
cuatro causas, 43-44
cuatro elementos, 64, 90, 102, 139, 156
quinto elemento, 64
sobre las clases de alma, 154
sobre los cometas, 85
véase también aristotelismo
aristotelismo, 49, 94, 99, 102, 131, 133, 139, 156
crítica de los humanistas, 25-26, 35, 37, 40, 89-90, 103, 109-112, 114, 117, 128, 135, 137, 196
seguidores, 135-137, 149, 154
Arquímedes, 26, 168
arquitectura, 17-18, 23, 112, 132, 168
arte, 15, 17-18, 22, 165, 176, 186
arterias, 148-149
artesanía, 56, 78, 122, 126, 165, 168
artillería, 168-169
astrología, 80-85, 141, 174, 181
judicial, 83-84
médica, 43, 82, 142-143
meteorológica, 81-82
natal, 82
astronomía, 12, 19-20, 23, 42, 45, 64, 68, 95-97, 126
modelos astronómicos, 72-80
observatorios astronómicos, 86, 126, 187, 189
véase también observaciones astronómicas
«astros mediceos», 90
ateísmo, 129-130, 134
átomos, 60, 129-130, 152, 158
atomismo, 23, 128, 194
y mecanicismo, 129-135
atracción, 50, 59
gravitatoria, 98, 100
magnética, 107, 133, 135, 194
Avicena, *véase* Ibn Sīnā
avispa gallarita, 153
azufre, 105, 157
principio químico, 121, 124

Bacon, Francis, 175-178, 183, 185-186, 191-192, 195
bacterias, 150
barómetro, 114-115, 120, 181
Bensalem, 178, 193
Berti, Gasparo, 113-115
Besarión, Basilio, 24
bestiarios, 159, 162
Biblia, 62, 103, 105, 159
Génesis, 151, 156, 177
interpretación, 35, 77, 100
profecías, 101
Biblia (Gutenberg), 27
bilis amarilla, 56, 139
bilis negra, 56-57, 139
biología, 37, 80, 132
biomecánica, 152
Biondo Flavio, 22
Boccaccio, 21
Boerhaave, Herman, 158-159
Bolonia, 72, 92, 145, 147, 163, 165, 189
bomba de agua, 116
bomba de aire, 118-120
Borelli, Giovanni Alfonso, 152, 181

botánica, 29, 159-161, 163, 165, 189
jardines botánicos, 127, 163-164, 187
Botticelli, Sandro, 17
Boyle, Robert, 44-45, 62, 118-120, 133-134, 147, 159, 183, 185-186, 195
Bracciolini, Poggio, 23
Brahe, Tycho, 84-86, 88-91, 93, 99, 125-126, 129
brújula, 108, 172, 176
Brunelleschi, Filippo, 167
Brunfels, Otto, 161
Bruni, Leonardo, 22
Burnet, Thomas, 105

Cabeo, Niccolò, 136
cafés, 12, 190
Calculatores de Oxford, 110
calendarios, 81-82
Calendario Zaragozano, 82
gregoriano, 91
juliano, 74
calvinismo, 34, 127
cambio climático, 81
Cambridge, 97
Campanella, Tommaso, 58
Campani, Giuseppe, 96
Campano de Novara, 77
capilares, 149
Carlomagno, emperador, 17
Carlos II de Inglaterra, 183
cartas de navegación, *véase* mapas
Cartas sobre las manchas solares (Galileo), 181
cartesiano, *véase* Descartes
cartografía, *véase* mapas
Casa de Contratación de las Indias, 32
Casa de Salomón, 178, 183
casas (astrológicas), 81
Cassini, Gian Domenico, 96, 174-175, 187, 189, 195
Castelli, Benedetto, 113-114
causas, 43-44, 84, 99-100, 111-112, 178
Causa Eficiente Primera, 44
causa final, 43-44
cerebro, 51, 131, 141
Cesi, Federico, 150, 180-181
China, 30, 37, 180, 189
Chrysoloras, Manuel, 24
Cicerón, 23, 78
ciencias del medio ambiente, 62
cinemática, 111, 136
cirugía, 144, 146
Clavius, Christoph, 91
Clemente VII, papa, 77
Club de Filosofía Experimental, 183
cobre, 116, 121, 123, 169
Colbert, Jean-Baptiste, 186
Collegio Romano, 91, 165
Colón, Cristóbal, 31-32
comercio, 30-32, 37-38, 121-122, 126, 133-134, 150
cometas, 11-12, 85, 93, 96, 105, 185
Cómo obtener la vida de los cielos (Ficino), 56
Compañía de Jesús, *véase* jesuitas
compás, 50, 108
Compendio de Astronomía Copernicana (Kepler), 90
complexión, 82, 140-141, 157
conocimiento causal, *véase* causas
Constanza, concilio, 23
Contrarreforma, 36; *véase también* jesuitas
copelación, 123
Copérnico, Nicolás, 64, 72-79, 91, 96, 146, 194
sistema copernicano, 86-88, 91-93, 95, 108, 136
corazón, 52-53, 148-149
Corpus hermeticum (Ficino), 41-42
correspondencia, redes de, 37, 45, 179, 183-184, 190-191

corrientes oceánicas, 107
«corteza jesuita», 161
Cosme I de Médici, 24
Cosme II de Médici, 90
cosmógrafos, 172, 174
cosmos, 52, 56, 89, 101, 103, 109, 196
  término griego, 39
  véase también macrocosmos y microcosmos
Costa, Cristóvao da, 163, 195
crisopeya, 121-122, 124, 127, 133-134, 195
cristianismo, 16, 18, 25, 41-42, 44, 60-62, 100, 111, 178
  reformas del cristianismo, 33-37
  teología cristiana, 20, 40, 57, 154
Cristo, 100, 160
cronómetro, 174
cuadrante, 172, 195
cualidades, 43, 110, 130, 141
  cualidad atractiva oculta, 99
  manifiestas, 49, 56
  ocultas, 49-51, 133
  opuestas, 57
  primarias, 49, 131, 139-140
  secundarias, 131

daimones, 41, 57
Dante, 21, 127
De caelo (Aristóteles), 90
De rerum natura (Sobre la naturaleza de las cosas; Lucrecio), 130
Dee, John, 83
deferente, 70-72
della Francesca, Piero, 17
della Porta, Giambattista, 55, 180
Demócrito, 129
Derecho, 18, 72, 139
Descartes, René, 95, 97-99, 131, 133, 136, 189, 191, 194-195
determinismo, 82, 134
Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo (Galileo), 93-94
Dinamarca, 84, 86, 88, 104, 175, 189
dinámica de fluidos, 113
Dios, 37, 39, 41, 46-47, 51, 60, 88, 177, 182
  como autor de romances, 45
  como geómetra, 67, 125, 132
  como mecánico o relojero, 132, 135
  creador, 13, 40, 44-45, 52, 62, 86-87, 99-101, 130, 151, 156, 196
  Maestro Químico, 125
  revelación de Dios, 61-62, 100
Dioscórides, 161
disección, 104, 145-147, 183, 188
dominicos, 30, 58
«Dos Libros», 61, 88
Dos nuevas ciencias (Galileo), 95, 109, 111-112
Duhamel, Jean-Baptiste, 188

eclipses, 58, 82, 174-175
ecología, 62; *véase también* medio ambiente
efluvio, 131
El ensayador (Galileo), 181
El mensajero sideral (Galileo), 91
El mundo subterráneo (Kircher), 107
electricidad, 107, 167
elementos aristotélicos, 64, 90, 102, 139, 156
elipses, 89, 98
Enrique de Langenstein, 20
Enrique el Navegante, rey de Portugal, 30
Epiciclos, 70-72, 76, 78
Epicuro, 129-130
epigénesis, 151, 153
Ercker, Lazar, 171
escolástica, 25, 35, 135-137
escuelas, 36-37, 192
  escuelas catedralicias, 17
  escuelas de Medicina, 143, 147

Esfera (Sacrobosco), 84
«esfera de Magdeburgo», 116-117
esferas celestes, 67-70, 72, 77, 85-90, 97, 172
espagiria, 124-125, 134
España, 11, 18, 32, 162-163, 172-174
«espíritu del mundo», véase *spiritus mundi*
espíritu humano, 124-125
espíritu vital, 154
estaciones, 68-70, 81, 140
estaño, 110, 121
Estrabón, 24
estratos, 104
estrellas, 12, 42, 64-66, 77-78, 85, 88, 96, 173
  Casiopea, 84
  Estrella Polar, 50, 65
  novas, 85, 125
  Osa Menor, 65
  supernova, 85
Euclides, 20
Eudoxo, 67-68
excéntricas, 69-70, 76, 78
experimentación, 16, 63, 103, 107-108, 113-114, 116-121, 126, 129, 134, 136, 147, 149, 153, 155-156, 174, 176-177, 181, 183-184
  experimentos mentales, 110-111
exploraciones geográficas, 31-33

farmacéuticos, 123, 128, 143-144
farmacopeas oficiales, 144
Farmer's Almanac, 82
Felipe II de España, 162
Fernando II de Médici, 114
Fernando el Católico, rey de España, 32
Ficino, Marsilio, 24, 41, 56-58
«filosofía magnética» de Gilbert, 108-109
filosofía mecanicista, *véase* mecanicismo
filosofía natural, 20, 45, 55, 60, 90, 99, 101, 105, 121, 128, 132, 136-137, 158, 176-179, 181, 183-185, 190
  definición, 47-48
física, 19, 45, 58, 67-68, 70, 72, 76, 79, 99, 108, 110-112, 126, 159, 195
flema, 56, 139
Florencia, 22, 201, 152, 167, 181
  concilio, 24
Fontana, Domenico, 169-170
Fra Angélico, 17
Francia, 11, 35, 44, 96, 116, 127-128, 144, 173, 186-187, 189, 191
franciscanos, 30, 123, 163
Frontino, 23, 26
Fuchs, Leonhart, 161
fuego, 12, 81, 105-106, 133, 155-156
  elemento primigenio, 64, 102
  y la química, 120-129
fuegos artificiales, 55

gabinetes de curiosidades, 165
Galeno, 20, 25, 139, 145-146, 148
Galilei, Galileo, 55, 61, 64, 90-95, 109-114, 130-131, 136, 145, 150, 168, 173-174, 180-181, 191, 195
Gama, Vasco da, 30
gas, 44
  Gas, 156-157
Gassendi, Pierre, 96, 130, 158, 191, 195
Geber, 128
Gemisto, Jorge (Pletón), 24
generación de formas de vida, 125, 151
  generación espontánea, 153
Génesis, 151, 156, 177
geocentrismo, 91, 93
geografía, 32, 45
Geografía (Estrabón), 24
Geografía (Ptolomeo), 31, 172

geoheliocentrismo, *véase* ticónico, sistema
geología, 80, 104-105
Gessner, Conrad, 159
Gilbert, William, 89, 107-109, 136
girasoles, en relación con el Sol, 49-54, 49
Gran Cadena del Ser, 42
Grant, Edward, 20
Grassi, Orazio, 93
gravedad, *véase* gravitación
gravitación, 60, 97-100, 194, 196
Grecia, 18-19, 22-24, 36, 39, 42, 65, 124, 129, 156, 159-161, 189
  mitos y dioses, 41, 57, 100,
Gregorio XIII, papa, 91
Gresham College, 184
Grew, Nehemiah, 152
Grimaldi, Francesco Maria, 96, 136
Guarino da Verona, 24
Guericke, Otto von, 116-118
guerra, 167
guerra civil inglesa, 184
Guerra de los Treinta Años, 94-95, 191
guerras de religión, 34-35
Gutenberg, Johannes, 27

Halley, Edmond, 105
Harrison, John, 174
Hartlib, Samuel, 191-192
Hartmann, Johannes, 127
Harvey, William, 148-149, 151-152, 194
heliocentrismo, 72, 76, 78-79, 88, 94-95, 194
  geoheliocéntrico, 86
heliotropismo, 49, 57
helmontismo, 155-159
herbarios, 159-163
Herbarium vivae icones (Brunfels), 159
Hermes Trimegisto, 41
Hermetica, 41-42, 100
Hernández, Francisco, 162-163, 181, 195
Herón, 26
Hevelius, Johannes, 96, 195
hidráulica, 23, 113-114, 152, 171
hierro, 50, 59, 107-108, 121, 128, 133, 169
Hipócrates, 139
hipótesis, 79-80, 94
Historia de las plantas (Fuchs), 161
Historia de los animales, (Gessner), 159
Historia General de las Cosas de Nueva España (Sahagún), 163
Historia medicinal de las cosas que se traen de nuestras Indias Occidentales (Monardes), 163
historia natural, 162, 176, 187
Historia Natural (Plinio), 159
Hooke, Robert, 98, 118-119, 150, 174, 183
horóscopos, 80, 83
humanismo, 16, 21-28, 31, 36, 50, 57, 78, 167-168, 171
  humanismo secular, 26
  y el aristotelismo, 25-26, 35, 37, 40, 89-90, 103, 109-112, 114, 117, 128, 135, 137, 196
  y Renacimiento, 22, 41, 100, 180, 191
humoral, teoría, 56, 82-83, 139-141
Huygens, Christiaan, 96, 173-174, 186-187
iatroquímica, 127, 134
Ibn al-Haytham (Alhacén), 72
Ibn Sīnā (Avicena), 139
imán, 50, 59, 89, 107-108, 133
Imperio romano, 17-19, 22-23, 26, 28, 34, 74, 124, 130, 139, 145, 159
imprenta, 12, 16, 26-29, 32, 34, 82, 91, 147, 176, 187
India, 30-31, 37, 163
inercia, 98, 110

informadores, 191
ingeniería, 15, 17, 19, 23, 26, 112-113, 167-169
Inglaterra, 11, 16, 35, 44, 105, 118, 120, 132, 134, 173-174, 176 183-186, 189, 191-192
inmaterialidad, 99, 151, 154, 156, 158
Inquisición, 95
insectos, 150, 153
Isabel I de Inglaterra, 83, 107, 177
Islam, *véase* árabe, ciencia
Italia, 11, 16, 95, 112-113, 145-146, 163, 167-168, 180-182, 185
  Renacimiento, 17-18, 21-26, 28
itálica, letra, 28

Jacobo I, rey de Inglaterra, 177
Jámblico, 57
jardines botánicos, 127, 163-164, 187
Jardin du Roi, 127-128, 188
Jean de Roquetaillade (Juan de Rocatallada), 123
jesuitas, 36-37, 45, 91, 93, 95-96, 105, 136, 155
  actividad misionera, 37, 107, 162, 180, 189
  «corteza jesuita», 161
Johannes de Rupescissa, *véase* Jean de Roquetaillade
Jonson, Ben, 127
Journal des Sçavans, revista, 192
Júpiter, 12, 57, 66, 74-75, 175
  lunas de, 90, 92, 174

Kepler, Johannes, 64, 86-90, 96, 98-100, 109, 195-196
Kircher, Athanasius, 45-49, 52, 105-107, 113, 165

«libros de secretos», 55
La Nueva Atlántida (Bacon), 178, 192
La Teoría Sagrada de la Tierra (Burnet), 105
Leeuwenhoek, Antoni van, 150-151, 185, 195
Leibniz, Gottfried Wilhelm, 99-100
Leiden, 147, 158, 163
Leipzig, 76, 163
Lemery, Nicolas, 128
León III, papa, 17
león, en relación con el Sol, 52-53
Leonardo da Vinci, 17, 168
Leopoldo de Médici, 181
Leopoldo I, emperador, 182
Leucipo, 129
libre albedrío, 82-83, 135
Libro de la Naturaleza, 62, 88, 111, 196
Londres, 98, 144, 147, 183-184, 190
longitud, 172-174, 187, 189
Los viajes de Gulliver (Swift), 185
Lovaina, 155
Loyola, Ignacio de, santo, 36
Lucrecio · 23, 130, 132
lugar natural, 76-77, 102, 108-109
Luis XIV de Francia, 96, 145, 147, 186-187
Luna, 45, 64-67, 74, 82, 85-86, 92, 97, 102, 109, 138, 141
  eclipses lunares, 174
  efecto en el cuerpo humano, 81
  efecto en las mareas, 50, 54, 59
  fases, 90
  mapa lunar, 96
Lutero, Martín, 34-35
luz, 80-81, 85, 88-89, 118, 131, 175, 185

machina mundi, 132
macrocosmos, 42-43, 52, 54, 59, 141, 149; *véase también* microcosmos
Magdeburgo, esfera, 116

magia, 55
magia espiritual, 57
magia natural (*magia naturalis*), 48-55, 58-60, 99, 109, 133, 137, 176, 180, 193
Magia naturalis (della Porta), 55
magnetismo, 45, 50, 55, 89, 98, 107-109, 133, 136-137, 194; *véase también* imán
magnetita, 107
magus, 48, 50
Malpighi, Marcello, 149, 181, 185, 195
manchas solares, 93
Manilio, 23
Manucio, Aldo, 28
mapas, 29, 32, 107, 172, 175
lunares, 96
portulanos, 172
mareas, 50, 81, 93-94
Maricourt, Pierre de, 107
Marte, 66, 74-75, 83, 88
matemáticas, 19-20, 26, 29, 36-37, 81, 83, 87-88, 91, 113-114, 116, 181
abstracción matemática, 110-112
aplicaciones al mundo material, 112, 168
en la Creación, 67, 92
enfoque de la filosofía natural, 136-137
filósofos griegos, 65, 67-68, 70
y modelos físicos, 65, 67, 70, 79, 109, 111
materia, 43, 97, 99-100, 120-122, 125, 129, 135, 151, 156, 158, 165, 195
inerte, 40-41, 153
invisibles, 130, 133
plenum, 117
véase también inmaterialidad
materialismo, 134
mecánica, 171
mecanicismo, 129-138, 151-152, 155, 158-159
Médici, familia, 104, 181
medicamentos, 33, 51, 53, 56, 123-124, 134, 139, 144, 195
herbarios, 160-163
medicina, 15, 17, 19, 45, 49, 56, 58, 107, 124, 133, 138-145, 155, 159, 162, 175, 195
astrología médica, 43, 82, 142-143
enseñanza de la, 72, 126, 143-145, 147, 158-159, 163
y química, 123, 127, 134, 144, 157-158, 181-182
medio ambiente, 158, 171
Melanchthon, Philipp, 35, 76, 84
melancolía, 56-57, 82
Mercator, Gerhardus, 172
mercurio, 114-118, 120
principio químico, 121, 124
Mercurio, planeta, 66, 92, 96
Mersenne, Marin, 191
metafísica, 47, 176
meteorología, 81-82
meteoritos, 166
meteoros, 85
microcosmos, 42-43, 45, 52, 59, 138-165; *véase también* macrocosmos
microscopio, 12, 138, 149-152, 154, 185
milenarismo, 192
mineralogía, 165
minería, 127, 169, 171
minerales, 13, 33, 50, 52, 122, 125
Monardes, Nicolás, 163
moneda, 17, 122, 171
Montpellier, 144, 163
Moritz de Hesse-Kassel, 127
movimiento, 103, 111-112, 130, 133, 150, 152, 154
armónico simple, 174
circular, 103, 110, 149
de la sangre, 148-149

de la Tierra, 74, 90-101, 108
de los astros, 11, 63, 65-72, 74-75, 78-79, 88-89, 96-98
en la Tierra, 109-112
natural, 102, 108
retrógrado, 66, 74-75
museos, 45, 165, 179
Mysterium Cosmographicum (Kepler), 88

navegación, 12, 30-33, 172-174
neoplatonismo, 40-41, 57, 125
Newton, Isaac, 64, 97-101, 105, 109, 135, 159, 185-186, 189, 194, 196
Nicetas, 78
Nicolás V, papa, 25
novas, *véase* estrellas
Nueva ciencia (Tartaglia), 112

observación, 33, 55, 59, 87, 104-105, 107, 118, 120, 122, 124, 128-129, 135, 146, 148, 155, 183-185
astronómica, 11-12, 37, 64-68, 70, 72, 74, 81, 85-86, 89-91, 96, 99 173-175
como método, 50-52, 58, 76, 78-79, 103, 108, 111, 121, 176
microscópicas, 149-152
observatorios,
de Greenwich, 189
de París, 187, 189
de Uraniborg, 86, 126
Oldenburg, Henry, 184-185
óptica, 45, 55, 74-75, 90-91, 93, 96, 154, 185
Oresme, Nicolás, 20, 77
oro, 30, 52-53, 57, 120-123, 127-128, 133, 169
Orta, García de, 163
Osiander, Andreas, 76, 79
Oxford, 147, 163, 183
Calculatores de Oxford, 110

Pablo III, papa, 78
Padrón Real, 32
Padua, 72, 112, 145-146, 148, 163
Países Bajos, 90, 164, 173, 185-186
Paracelso (Theophrastus von Hohenheim), 124-126, 134, 144-145, 155-157, 195
tria prima, 124-125, 156
paralaje, 77-78, 85
París, 96, 127-128, 144, 163, 187-191
Pascal, Blaise, 116
patrocinio, 31, 104, 127, 168, 178, 181, 185, 187
Peiresc, Nicolas-Claude Fabri de, 191
péndulos, 109, 173-174
percepción sensorial, 50, 130, 180
Périer, Florin, 116
periodo cálido medieval, 18, 21
Perrault, Claude, 147
peste negra, 21-22, 157
Petrarca, 21
Peurbach, Georg, 73
Philosophical Transactions, revista, 184-185, 192
piedra filosofal, 122-123, 133
Pío II, papa, 25
Pisa, 113, 163
Pitágoras, 26, 78
pitagóricos, 67
planetas, 42, 66, 68, 72 80-81, 92
catástrofes planetarias, 105
curso regular, 64-66, 85
fases, 90-91
influencias, 43, 56-57, 80-82, 141
movimiento retrógrado, 66, 74-75
movimiento, 64-67, 70-72, 79, 89, 97-99
número de planetas, 66, 81, 86-87
tablas planetarias, 78-79, 175

Plantas y Animales de la Nueva España (Hernández), 162
plata, 121-123, 129, 169
Platón, 24, 26, 40, 42, 54, 67, 78, 111
  sólidos platónicos, 87
  véase también neoplatonismo
plenum, 117
Pletón, *véase* Gemisto, Jorge
Plinio el Viejo, 159, 162
plomo, 121-123, 133
Plotino, 57
pólvora, 105, 120, 167, 171, 176
Portugal, 29-32, 163
preformacionismo, 151-152
Principios matemáticos de la filosofía material (Newton), 98
prisca sapientia, 100
profecías, 101
profesionalización, 179, 192, 196
protestantismo, 34-36, 84, 94, 144
Pseudo Dionisio Areopagita, 41
Ptolomeo, Claudio, 20, 31, 69-70, 80, 92, 172
  sistema ptolemaico, 70-71, 78, 86, 90, 93
Puy de Dôme, experimento, 116

química, 12, 44, 118, 133, 135, 137-138, 144, 155, 171, 187, 195
  Dios como el «Maestro Químico», 125, 132
  y alquimia, 120-129
  y medicina, 123, 127, 134, 144, 157-158, 181-182
quintaesencia, 64, 90
Quintiliano, 23

Redi, Francesco, 153, 181
Reforma protestante, 16, 33-36
religión,
  diferenciación en Europa, 33-36
  misiones religiosas, 30
  y ciencia, 59-62, 93, 132
  y humanismo, 25-26
relojes, 120, 173-174
Renacimiento, 30, 42, 136, 169
  carolingio, 17-18, 23
  italiano, 17-18, 21-26, 28
  y humanismo, 22, 41, 100, 180, 191
Resurrección Final, 125
Reuchlin, Johannes, 35
revistas científicas, 12, 19, 179, 184, 192
Rheticus, Georg Joachim, 76, 79
Riccioli, Giovanni Battista, 92, 96, 136, 195
Rodolfo II, emperador, 88
Roemer, Ole, 175
Roma, 37, 45, 96, 113, 180, 182
  Collegio Romano, 91, 165
  San Pedro, 83, 168-170
  véase también Imperio romano
Royal College of Physicians, 144
Royal Society (Londres), 98, 147, 183-186, 189

Sacrobosco, Johannes de, 73, 84
Sagradas Escrituras, *véase* Biblia
Sahagún, Bernardino de, 163
sal, 129, 134
  ingrediente primario, 124
salitre, 134, 171
salones filosóficos, 190
sangre, 12, 139, 141, 150-151
  circulación, 148-149, 152, 194
  transfusiones, 148
Saturno (dios), 123
Saturno (planeta), 56-57, 66, 74-75, 77, 90, 92
  anillos, 12, 96
scala naturae, 40
Scheiner, Christoph, 93
Schönberg, Nicolaus, 74
Schreck, Johann, 180
semen, 12, 150-151
semina (semillas), 156
Shadwell, Thomas, 185

Sidera Lodoicea, 96
signaturas, doctrina de las, 51-52
signo zodiacal, *véase* Zodiaco
simpatía, 58-59, 99, 109, 131, 133
  vibración por simpatía, 53
Sixto IV, papa, 25
Sixto V, papa, 169
Sobre el imán (Gilbert), 107
Sobre la estructura del cuerpo humano (Vesalio), 146
Sobre las revoluciones de los orbes celestes (Copérnico), 76, 146
sociedades científicas, 55, 147, 178-189
Sol, 52-53, 57-58, 73, 76, 79, 81, 86-87, 89-90, 97-98, 173
  movimiento, 65-66, 69, 74, 77
  símbolo de Dios Padre, 88
  y girasoles, 49-51, 54, 59
  véase también sistema heliocéntrico
sonido, 58, 118
spiritus mundi, 54
Stahl, Georg Ernst, 158
Stelluti, Francesco, 150
Steno, Nicolás (Niels Stensen), 104-105
supernova, *véase* estrellas
superstición, 58-59
Swift, Jonathan, 185

Tabla de Esmeralda, 42
Tales de Mileto, 156
Tartaglia, Niccolò, 112, 168
taxonomía, 162-163
tecnología, 13, 15, 18, 24, 26, 36, 63, 166-178, 192-193
telescopio, 11-12, 90-91, 96, 150, 175, 179, 185, 195
temperamento, 56, 139
Teodorico de Friburgo, 20
Teofrasto, 136
teología, 17-18, 34, 100, 139
  teología cristiana, 20, 40, 57, 154
  y estudio científico, 45, 47, 60-61, 88, 132, 155
termómetro, 181
Tesoro de las Cosas Medicales de la Nueva España (Accademia dei Lincei), 180
ticónico, sistema, 91-92, 95
tierra, como elemento primigenio, 64, 102
Tierra, 11, 65, 67, 74-75, 79, 89, 105-106, 121, 138, 160, 175, 189
  alma de la, 108
  centro del universo, 65, 67, 69-70, 86, 103
  edad, 103-104
  excéntrica, 69-70
  influencia de los astros, 80-81
  magnetismo, 107-109
  movimiento de la, 74-77, 99-101
  movimiento en la Tierra, 109-112
  mundo sublunar, 45, 64, 102
  rotación, 72, 77, 108
tamaño, 31
Timeo (Platón), 42, 54
Tiziano, 146, 161
Torricelli, Evangelista, 114-116, 120
traducción de los clásicos, 19
transmutación, 121-122, 127, 134
Trento, Concilio, 36
tria prima, 124-125, 156
«tulipomanía», 164

universidades, 35-37, 72, 76, 97, 112-113, 126-128, 139, 148, 155, 158, 162-163, 179-180, 183, 192
  en la Edad Media, 17, 20, 25-27, 34
universo, 47, 52, 62, 64, 67, 70, 72, 76, 78, 92, 102, 108-109, 111, 124, 194-195; *véase también* macrocosmos
Uraniborg, 86, 126
Urbano VIII, papa, 58, 94-95

vacío, 78, 117-118, 129
Valencia, 163
Van Helmont, Jan Baptista, 156-159, 195; *véase también* helmontismo
Venecia, 28, 30, 73, 112
Venus, 66, 85, 90-92
Vesalio, Andreas, 146-147, 161, 195
Vespucio, Américo, 32
Vesubio, 105
vino, 57, 123, 145
Virtuoso (Shadwell), 185
vitalismo, 154-158
Vitruvio, 23, 26, 268
volcanes, 105-107, 167
vórtices, 97-99, 194

Whiston, William, 105
Widmannstetter, Johann Albrecht, 74
Wittenberg, 34-35, 76
Worm, Ole, 164
Wren, Christopher, 183

Zodiaco, 66, 74, 81, 141-142
zoología, 29, 159-160, 165, 179